

INŠTITUT ZA GOZDNO IN LESNO GOSPODARSTVO  
SLOVENIJE

LIJEPLJENJE  
I PLASTIFICIRANJE DRVETA  
POMOĆU ELEKTROOTPORNOG  
ZAGRIJAVANJA

LJUBLJANA 1962

Ovaj elaborat izradjen je u Institutu za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije u Ljubljani i u Laboratoriju za elektrotermiju Univerziteta u Ljubljani po ugovornoj narudžbi Sklada Boris Kidrič, Ljubljana od 10. jula 1959.

Avtorsko pravo pridržano.

Qx/ 824.7/2(497.1)

T e m a

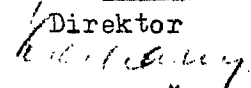
LIJEPLJENJE I PLASTIFICIRANJE DRVETA  
POMOĆU ELEKTROOTPORNOG ZAGRIJAVANJA

Nosilac: Inž. Janez Jerman - Inštitut za gozdno in  
lesno gospodarstvo Slovenije u Ljubljani

Autori: Inž. Lojze Perme - Fakulteta za elektroteh-  
niko in strojništvo Univerze u Ljubljani

Inž. Janez Jerman - Inštitut za gozdno in  
lesno gospodarstvo Slovenije u Ljubljani

LJUBLJANA, maja 1960.

  
Direktor  
Ing. Bogdan Žagar

V S E B I N A

|   |    |
|---|----|
| UVOD  | 7  |
| FORMULACIJA ZADATKA   |    |
| - Program rada  | 10 |
| - Metoda rada   | 11 |
| 1 OSNOVNA TEHNIČKA I EKONOMSKA ISTRAŽIVANJA TOPLIN-<br>SKOG OBRADJIVANJA DRVETA POMOĆU ELEKTRICITETA I<br>PRIMJENE ELEKTRO-ZAGRIJAVANJA NA PODRUČJU LIJEP-<br>LJENJA DRVETA | 14 |
| 1.1 Opće misli  | 14 |
| 1.2 Lijepljenje elektrootpornim zagrijavanjem   | 17 |
| 2 ISTRAŽIVANJE OSNOVA ZA ELEKTROOTPORNO ZAGRIJAVANJE  | 19 |
| 2.1 Pretvaranje električna energije u toplinsku pomoću<br>kovinskih vodiča  | 19 |
| 2.1.1 Električni otpor grijala i dovoda   | 20 |
| 2.1.2 Snaga grijala i gubitci u dovodima  | 22 |
| 2.1.3 Specifična snaga električnog grijala  | 23 |
| 2.1.4 Problem izbora pogonskog napona   | 25 |
| 2.1.5 Serijski i paralelni spoj grijala   | 27 |
| 2.1.6 Proračun grijala  | 28 |
| 2.1.6.1 Pojam površinskog otpora  | 28 |
| 2.1.6.2 Nomogram za proračun grijala  | 29 |
| 2.1.6.3 Ekvivalentna debljina perforiranog lima   | 33 |
| 2.2 Toplinska vodljivost raznih vrsta drveta i<br>njegovih presjeka   | 34 |
| 2.3 Utvrđivanje vremena koje je potrebno za zagrija-<br>vanje kod raznih debljina drveta u ovisnosti o spe-<br>cifičnoj snazi i temperaturi grijala                         | 39 |
| 2.3.1 Podjela grijala obzirom na toplinski kapacitet  | 39 |
| 2.3.1.1 Grijala s velikim toplinskim kapacitetom  | 39 |
| 2.3.1.2 Grijala s malim toplinskim kapacitetom  | 42 |
| 2.3.1.3 Grijala srednjeg toplinskog kapaciteta  | 43 |
| 2.3.2 Utvrđivanje vremena koje je potrebno za stvrdnja-<br>vanje ljepila  | 43 |
| 2.3.2.1 Utvrđivanje vremena stvrdnjavanja ljepila kod stal-<br>ne temperature   | 43 |
| 2.3.2.2 Utvrđivanje vremena stvrdnjavanja ljepila kod tem-<br>perature koje jednoliko raste   | 44 |



|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 2.3.2.3 | Utvrđjivanje vremena za stvrdnjavanje ljepila kod temperature koja se mijenja   | 47  |
| 2.3.3   | Račun prostiranja topline kroz presjek drveta   | 48  |
| 2.3.3.1 | Račun prostiranja topline kroz presjek drveta kod termostatski upravljanih grijala i grijala s velikim toplinskim kapacitetom     | 48  |
| 2.3.3.2 | Prostiranje topline kroz drveni presjek kod grijala sa srednjim i grijala s malim toplinskim kapacitetom                          | 53  |
| 2.3.4   | Električno mjerenje temperature u tehnici otpornog ljepljenja drveta  | 54  |
| 2.3.4.1 | Milivoltmetri u izvedbi kao obični pokazni instrumenti sa zakretnim svitkom   | 56  |
| 2.3.4.2 | Kompenzatori napona ne traže određeni otpor   | 58  |
| 2.3.4.3 | Baždarenje termoelemenata   | 59  |
| 2.3.4.4 | Mjerenje temperature  | 60  |
| 2.3.5   | Vrijeme ugrijavanja - iskustveni podaci temperature i uputstva  | 61  |
| 3       | UTVRDJIVANJE SPECIFIČNE SNAGE GRIJALA ( $W/m^2$ ) KOJA JE POTREBNA DA BI SE POSTIGLA TRAŽENA TEMPERATURA KOD RAZNIH VRSTA GRIJALA | 66  |
| 3.1     | Utvrđjivanje specifične snage grijala velikog toplinskog kapaciteta   | 68  |
| 3.2     | Specifična snaga grijala malog toplinskog kapaciteta  | 71  |
| 3.3     | Specifična snaga grijala srednjeg toplinskog kapaciteta   |     |
| 4       | POKUSI S PRIMJENOM RAZNIH VRSTA GRIJALA   | 79  |
| 4.1     | Konstrukcija i izradba grijala  | 79  |
| 4.1.1   | Gola plosnata grijala (trakasta grijala)  | 79  |
| 4.1.2   | Izolirana plosnata grijala  | 95  |
| 4.1.2.1 | Grijala od lima i mreže velikih površina  | 99  |
| 4.1.2.2 | Izradba kalupa za grijala široke plohe  | 104 |
| 4.1.2.3 | Namotani grijaći ulošci   | 107 |
| 4.1.2.4 | Gumene grijaće prevlake   | 111 |
| 4.1.2.5 | Utorska grijala   | 113 |
| 4.1.2.6 | Grijaći element u sloju ljepila   | 115 |
| 4.1.3   | Elektrode i kontakti  | 116 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 4.1.3.1 | Dimenzioniranje elektroda   | 116 |
| 4.1.3.2 | Sekcionirane elektrode  | 119 |
| 4.1.4   | Dovodi  | 121 |
| 4.1.4.1 | Dimenzioniranje dovoda  | 122 |
| 4.1.4.2 | Polaganje vodova i izbor kabela   | 123 |
| 4.1.4.3 | Vodno hladjenje dovoda  | 124 |
| 4.1.5   | Transformatori  | 125 |
| 4.1.5.1 | Značajan podatak pri narudžbi transformatora je navedba snage                               | 127 |
| 4.2     | Potrošak električne energije za elektrootporno zagrijavanje                                 | 132 |
| 5       | ISTRAŽIVANJE EKONOMSKE PRIMJENE ELEKTROOTPORNOG ZAGRIJAVANJA U FINALNOM OBRADJIVANJU DRVETA | 136 |
| 5.1     | Razvoj  | 136 |
| 5.2     | Primjena  |     |
| 5.3     | Upotrebljivost elektrootpornog zagrijavanja   | 138 |
| 5.4     | Ekonomske prednosti elektrootpornog zagrijavanja  | 139 |
| 5.5     | Usporedjivanje kalkulacije proizvodnih troškova parnog i otpornog zagrijavanja              | 141 |
| 5.5.1   | Elektrootporno zagrijavanje   |     |
| 5.5.2   | Parno zagrijavanje  | 144 |
| 6       | SADANJE STANJE ELEKTROOTPORNOG LIJEPLJENJA U FINALNOM PRERADJIVANJU DRVETA U NAS I DRUGDJE  | 147 |
| 6.1     | Razvoj otpornog zagrijavanja u nas i drugdje  | 147 |
| 6.2     | Pogonsko iskustvo i primjeri  | 150 |
| 6.2.1   | A   | 150 |
| 6.2.2   | B   | 152 |
| 6.2.3   | C   | 153 |
| 6.2.4   | Č   | 154 |
| 6.2.5   | D   | 154 |
| 6.3     | Zaključci   | 155 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 7    | OSNOVNE TEHNIČKE PREPORUKE ZA OPERATIVU               | 157 |
| 7.1  | Preše i uređjaji za prešanje                          | 157 |
| 7.2  | Modeli, šablone, kalupi                               | 160 |
| 7.3  | Lijepljenje rubnih letvica i rubova                   | 165 |
| 7.4  | Lijepljenje ravnih površina                           | 169 |
| 7.5  | Lijepljenje krivih površina i predmeta                | 171 |
| 7.6  | Ostale mogućnosti primjene elektrotopnog zagrijavanja | 173 |
| 7.7  | Elektrotermičko gumeno grijalo                        | 174 |
| 7.8  | Mreža i žice kao grijalo                              | 175 |
| 7.9  | Grijalo u sloju ljepila                               | 176 |
| 7.10 | Ljepila i njihovo vrijeme stvrdnjavanja               | 177 |
| 7.11 | Pritisci  | 180 |
| 8    | ZAKLJUČCI U POGLEDU EKONOMIKE OTPORNOG ZAGRIJAVANJA   | 185 |
|      | Literatura  | 187 |

## U V O D

Već više godina naši stručnjaci drvne industrije, naročito industrije pokućstva, nastoje naći pogodan postupak, da bi se pojednostavilo zagrijavanje drveta pri lijepljenju i savijanju. Mjesto dosadanjeg pokućstva ravnih, pravokutnih oblika, potrošači sve češće traže oblikovane ili profilirane komade ili pojedine dijelove komada pokućstva. Takvi komadi pokućstva bili su još donedavno domena ručnog obrtnog rada ili su se pak izradjivali samo pojedinačno ili u manjim garniturama po individualnim narudžbama potrošača. Ti komadi ili garniture bili su razmjerno skupi, jer su bili plod specijalnog rada.

No otkako se sve upornije pojavljuju zahtjevi za većim brojem tih oblikovanih drvnih proizvoda, porasla je potreba serijske izradbe oblikovanih drvnih proizvoda u drvno-industrijskim poduzećima. Pored toga, iz drvnih, naročito pokućstvenih proizvoda počelo je masivno drvo u sve većoj mjeri istiskivati drveno tvorivo kao što su lesovinske ploče, panelploče, ploče od i-verja i vezane ploče, umjetne mase i slično. Medjutim, ovo drveno tvorivo mora biti obloženo i prekriveno drvetom koje se na tvorivo lijepi u ranim oblicima i dimenzijama, od uskih ravnih traka i rubova pak sve do valovitih, zamršeno savinutih i drukčije oblikovanih površina.

Razumije se da oblikovanje drvnih proizvoda i oblaganje drvnih tvoriva traži jedan sasvim nov tehnološki proizvodni postupak, a i nove uređaje. Dosadanji tradicionalni mašinski park i radni postupci ne mogu više da se koriste u tu svrhu, jer se njihov kapacitet smanji daleko ispod granice rentabilnosti. Stari postupak tražio je u manjim pogonima dugotrajan ručni rad i velike radne prostorije, a veći pogoni morali su ulagati znatne devizne i dinarske investicije za nabavku velikih presa, parnih kotlova, instalacija, uređaja za grijanje i drugih naprava. U drvnoj industriji, kao i na mnogim drugim mjestima, elektricitet istiskuje paru na mnogim radnim mjestima. Stare prese na parno zagrijavanje počele su da se povlače ispred električnih, jer su ove brže, čistije, sigurnije, jeftinije, jednostavnije itd.

Postupak lijepljenja i plastificiranja drveta pomoću elektrootpornog zagrijavanja je nova metoda koja je baš sada, zbog mnogobrojnih prednosti, počela prodirati i zauzimati značajno mjesto u drvnoj industriji finalnih proizvoda.

Za novi postupak električnog zagrijavanja i lijepljenja koji se obradjuje u ovom elaboratu nisu potrebne veće investicije ili skupi uređaji, ograničen je na mali prostor, može se upotrebljavati u svakom pogonu, bilo da se radi o maloj obrtničkoj radionici ili pak o najvećoj tvornici, svaki pogon može sam izraditi skoro sva potrebna pomagala ili ih pak može za skromna novčana sredstva nabaviti iz domaće proizvodnje, moguća je šrijska izradba mnogobrojnih, različito oblikovanih profila pokućstva i sličnih proizvoda od drveta.

Odbor Sklada Borisa Kidriča omogućio je da se obradi naučno-istraživačka tema pod naslovom "Lijepljenje i plastificiranje drveta pomoću elektrootpornog zagrijavanja", čiju jezgru sačinjavaju baš elektrotermični problemi koji se obraduju u ovom radu. Rad je obavio Laboratorij za elektrotermiju Fakultete za elektrotehniko in strojništvo u Ljubljani.

Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo LRS u Ljubljani i Tovarna pohištva u Novoj Gorici, koja je kao prva u nas uvela elektrootporno lijepljenje i time obavila pionirski rad na tome području, obradili su ekonomske i ostale tehnološke probleme. Tine Ravnikar, direktor Tovarne pohištva u Novoj Gorici, i Boris Ferlat, vodja pogona iste tvornice, doprinijeli su ovome radu svojim praktičkim iskustvom i nekim skicama .

Okvir rada bio je odredjen unaprijed, a materija prilagodjena potrebama drvnih pogona. Zato je bilo prijeko potrebno da se na početku kratko zahvati u osnove elektrotehnike, što će nam čitalac oprostiti. Takodjer pri pojedinim obrascima navedeni su prividno bez potrebe termini i jedinice koje treba uvrstiti u jednadžbe - sve to s namjerom da bi se ovaj rad mogao svugdje što je moguće praktičnije upotrebljavati. Isto tako je i materija raščlanjena na način da spada u unaprijed odredjeni okvir.



Pri našem radu na ovom elaboratu bili smo rukovodjeni načelom da sva istraživanja, teoretske pokuse i podatke o praktičnim iskustvima u pogledu tog postupka što je moguće više pojednostavimo i približimo ih proizvodnim uvjetima, kako bi bili pristupačni takodjer nižim stručnim kadrovima i kako bi pomoću ovog elaborata i uputstava u njemu svaki pogon mogao uvesti ovaj moderni postupak u svoju proizvodnju. Nadamo se i želimo da ovaj rad doprinese što bržem uvođenju opisanog postupka električnog zagrijavanja i lijepljenja drveta u našu proizvodnju, čime će se ne samo povećati proizvodnja i poboljšati kvalitet proizvoda uz istovremeno znatno smanjenje proizvodnih troškova, nego će biti omogućeno da se uvede takodjer serijska proizvodnja profiliranih proizvoda od drveta i da se na taj način premoste teškoće koje su se do sada pojavljivale pri preuzimanju inozemskih narudžbi za proizvode takve vrste i zbog kojih su se takve narudžbe često morale odbijati.

## FORMULACIJA ZADATKA

### Program rada

Istraživački rad na temu "Lijepljenje i plastificiranje drveta pomoću elektrotopnog zagrijavanja" biti će izveden u saradnji Instituta za gozdno inlesno gospodarstvo sa Fakultetom za elektrotehniko in strojništvo i sa Tovarnom pohištva u Novoj Gorici. Rad će se odvijati u laboratorijama Instituta, Fakultete i u tvornicama. Metodika i program rada bili bi slijedeći:

- (1) Osnovna tehnička i ekonomska istraživanja toplinskog obradjivanja drveta pomoću elektriciteta i primjena električnog zagrijavanja na području lijepljenja drveta.
- (2) Istraživanje osnova za elektrotopno zagrijavanje.
  - (2.1) Pretvaranje električne energije u toplinu pomoću metalnih vodiča.
  - (2.2) Toplinska vodljivost raznih vrsta drveta i njegovih presjeka.
  - (2.3) Utvrđivanje vremena koje je potrebno za zagrijavanje kod raznih debljina drveta, u ovisnosti o specifičnoj energiji zagrijavanja.
- (3) Utvrđivanje količine energije koja je potrebna da bi se postigla tražena temperatura na pojedinim tačkama zagrijavanja (za sirovo drvo, vezano drvo, ploče itd.)
- (4) Pokusi s primjenom raznih vrsta grijala.
  - (4.1) Konstrukcija i izradba grijala.
  - (4.2) Oduzimanje električne struje iz mreže kod upotrebe za otporno zagrijavanje.
- (5) Istraživanje ekonomične primjene elektrotopnog zagrijavanja u finalnom obradjivanju drveta.
- (6) Sadanje stanje elektrotopnog lijepljenja u finalnom preradjivanju drveta u nas i drugje.
- (7) Osnovne tehničke preporuke za operativu.

## M e t o d a   r a d a

Bezuspješno ćemo tražiti po literaturi neku studiju koja bi bila slična našoj temi i koja bi sadržavala uputstva za uvođenje postupka elektrotopnog zagrijavanja u drvenu proizvodnju. Doduše, u nekim naprednim zemljama ovaj postupak u praksi je uveden, ali nije stručno i tehnički obrađen u literaturi, osim ponegdje u nepotpunim odlomcima. Naročito ekonomika ovog postupka nije nigdje obrađena, a ne postoje ni poredbene kalkulacije sa dosadanim postupcima koje bi prikazale uštedu na troškovima proizvodnje. Postupak se je razvijao jedino po jedinim poduzećima iskustveno, s ciljem da se smanje troškovi i da se osvoji proizvodnja novih proizvoda.

O iskustvima te vrste imamo na raspolaganju samo šture podatke u inozemnim revijama drvene struke. Na žalost, ti podaci vrlo su različiti i nerijetko čak oprečni. Elektrotehnički i termodinamički problemi nisu raščišćeni, a često se i pogrešno tumače. Može se, da primjer, utvrditi da se u Češkoj upotrebljavaju (po ovoj prilici na osnovu takvih preporuka) za napajanje grijala transformatori za zavarivanje. Zbog toga se u nekim režimima pogona može očekivati samo kod transformacije i do 80% gubitaka energije itd. Prema tome, zbog uvođenja i uspješnog izvođenja ovog postupka bilo je prijeko potrebno da se obradi ova tema.

U pripremnom stadiju za elaborat proučavali smo novije nalaze elektrotermije u Laboratoriju za elektrotermiju Univerze u Ljubljani i iz publikacija nekih istraživačkih zavoda u zemlji i na strani. Pri ovom radu saradivalo je i nešto tehničkog osoblja iz proizvodnje, obradili smo problematiku finalnog - u prvom redu pokuštenog - obradjivanja drveta te sadašnjih i perspektivnih mogućnosti za izvoz. Proučili smo i odgovarajuću opremu u preduzećima te mogućnosti nabavke ili izradbe uređaja za elektrotopno zagrijavanje u zemlji. Izveli smo mjerenja i proračun te utvrdili radni efekt tog postupka u serijskoj proizvodnji i provjeravali produktivnost rada. Proučavali smo također činioce koji utiču na povećanje kapaciteta i uvođenje mehanizacije u fazi lijepljenja drveta kao i prepreke koje koče smjelije uvođenje tog postupka u većinu naših preduzeća i pogona.

Tehnika elektrotopnog lijepljenja, takoreći, nije bila obradjena ni s električne ni s ekonomske strane, pa je stoga bilo potrebno iz osnova istražiti niz problema. Tako je bilo riješeno pitanje izbora pogonskog napona (2.1.4) i bila je postavljena teorija utvrđivanja vremena stvrdnjavanja kod grijala različitih toplinskih kapaciteta (2.3). Ove smo podijelili na grijala s velikim, srednjim i malim toplinskim kapacitetom.

Zbog razmjerno kratkih pogonskih vremena imali smo posla jedino s nestacionarnim stanjima i zato moramo voditi računa o toplinskom kapacitetom primijenjenih tijela i grijala. Dosadnji empirijski podaci u uputstva za pogon vrijedili su jedino za pojedine slučajeve, a njihovo uopćavanje unosilo je samo zbrku i štetu.

Zbog velikog broja tipova i izvedbi grijala, zbog razmjerno širokog intervala upotrebljavanih specifičnih snaga grijala i zbog znatnog broja mogućih sastava slojeva proizvoda nastaje toliko kombinacija da bilo koja uputstva nemaju nikakva smisla. Treba primijeniti račun koji među ostalim sadrži takodjer račun širenja toplinskih valova kroz sastav drvenih slojeva u raznim uvjetima.

Širenje toplinskih valova prati se s najmanje napora Beukinovim modelom, ali, na žalost, on nam nije na raspolaganju. Račun je teži pak smo zato funkcije naveli u tabeli. Da bismo olakšali rad izradili smo krivulje zagrijavanja (slika 21) za hrastovinu raznih debljina. Ove krivulje smo upotrebili takodjer kod nove metode određivanja specifičnih snaga grijala velikog toplinskog kapaciteta pomoću krivulja zagrijavanja i numeričkog integriranja količina topline u presjeku drveta.

Za praktičan proračun grijala izračunali smo i konstruirali univerzalni nomogram za proračun površinskih grijala u obliku lima i mreže (slika 3). Ovaj nam je uvelike skratio računski postupak pri računanju grijala i naročito je pogodan za traženje optimalnih rješenja u danom slučaju. Pri tome smo osvojili novi termin - površinski otpor plošnih grijala ( $r$  - oma/jedinicu plohe).

Budući da se je tražila velika jednolikost zagrijavanja po cijeloj plohi

zagrijavanja, nastala je metoda za dimenzioniranje elektroda plošnih grijala i sekcioniranih elektroda (4.1.3), a pri određivanju opteretivosti izoliranih vodiča za dovode u pogledu temperaturne granice (4.1.4.1) naišli smo na "temperaturni paradoks izoliranih vodiča". On nam veli da u nekim slučajevima izolacija oko vodiča prouzrokuje čak smanjenje njegove temperature mjesto očekivanog povećanja.

U pogledu tehnologije nastojali smo da ostane otvoreno što manje pitanja. Izveli smo znatan broj pokusa impregnacije za kompaundirana grijala domaćim lakovima i postigli dobar uspjeh, a za mjerenje temperature u sloju ljepila uveli smo novi način mjerenja temperature "beskonačnim" termoelementom.

Pitanje materijala za električna grijala rješavali smo konsultacijom s Tvornicom lakih kovina "Boris Kidrič", Šibenik, i s ekspertom tvornice Kanthal iz Švedske, inž. Thomanderom, kojima se za objašnjenja najljepše zahvaljujemo.



# 1 OSNOVNA TEHNIČKA I EKONOMSKA ISTRAŽIVANJA TOPLINSKOG OBRADJIVANJA DRVETA POMOĆU ELEKTRICITETA I PRIMJENE ELEKTRO-ZAGRIJAVANJA NA PODRUČJU LIJEPLJENJA DRVETA

## 1.1 O p ć e m i s l i

Izvanredno povećanje i jak razvitak proizvodnje u industriji pokućstva u posljednjim godinama te planiranje još većeg porasta te proizvodnje primorava na uvođenje novih tehnoloških postupaka i novih uređaja u pojedinim radnim fazama. I sve veće mogućnosti izvoza traže modernizaciju naše proizvodnje pokućstva. Izgradnjom velikih tvornica i u posljednje vrijeme još sjedinjivanjem pogona u veće proizvodne jedinice nastali su znatno povoljniji uvjeti za uvođenje modernijih tehnoloških postupaka i racionalnijih uređaja.

Pojedini pogoni koji su počeli sami graditi uređaje za elektrootporni postupak probleme su više-manje uspješno rješavali, ali svi su oni nailazili na znatne teškoće. Mnogo je također pogona koji žele urediti uređaje za elektrootporno lijepljenje i furniranje, no zbog pomanjkanja informacija to ne mogu izvesti. Projektiranje uređaja za elektrootporno zagrijavanje zahvata u elektrotehničku, toplinsku-tehničku, mašinsku i drvnu struku, a uz to traži i mnogo iskustva.

Tako su u mnogim pogonima ili na pojedinim radnim mjestima radne grupe i pojedinci pokazali dosta smisla za povećanje proizvodnje, poboljšanje kvaliteta proizvoda, pojednostavljenje postupaka, smanjenje troškova i slično te su dali inicijativu ili su čak sami izradili potrebna pomagala i naprave. Lijepljenje elektrootpornim zagrijavanjem koje ovdje obradjujemo također spada među novosti koje su nastale u radnom kolektivu bez posebnih uticaja sa strane gdje se taj postupak već općenito primjenjuje. Razumije se da su te novosti koje su nastale u pogonima više iskustvenog značaja te su stručno i ekonomski u manjoj mjeri obradjene, pak stoga i ne pružaju one koristi koje bi inače mogle. Zato smo u ovom elaboratu temeljito obradili problematiku lijepljenja otpornim zagrijavanjem, kako bi pogoni mogli usavršiti već postojeće

elektrootporne uređjaje i postupke pak time postići njihovu veću rentabilnost, a uz to će kod instaliranja novih elektrootpornih uređjaja i pri uvođenju tog postupka otpasti početne teškoće i gubici na rentabilnosti.

Povećanu produktivnost na račun racionalnijih proizvodnih postupaka u drvanoj industriji treba pripisati mjerama koje su se morale preduzeti bez odugovlačenja, da bi se zahtjevi kupaca - u prvom redu izvoza - mogli zadovoljiti bez revolucionarnih zahvata u dosadanju proizvodnju i tehniku, koji bi mogli kočiti njenu kontinuitetu. Tako nas okolnosti primoravaju na uvođenje novih postupaka i uređjaja u proizvodnju pokušstva, koji ne samo da osiguravaju kvalitetniju proizvodnju, nego proizvodnju ubrzavaju i pojeftinjuju.

Furniranje oblikovanih profila u dosadanjim masivnim, parom zagrijavanim presama i lijepljenje sintetičkim lijepilima posjeduje brojne nedostatke. Uređjaji su kovinski ili betonski, t.j. vrlo skupi i osjetljivi pri upravljanju, traže instalaciju parnih i kondenzacionih cijevi po proizvodnoj traci u pogonima, spori su, toplina im se ne može podešavati, ne mogu se istovremeno lijepiti komadi različite debljine i slično. Zato se sve oštrije ispoljava potreba jednostavnijih i drukčijih, električno zagrijavanih uređjaja za lijepljenje, koji bi bili jeftiniji, a po učinku bolji.

U našim pogonima su ponegdje već prije pokušavali zagrijavati zalijepljene oblikovane komade drveta električnom strujom. Tovarna pohišta u Novoj Gorici, koja se je upornije lotila ovih pokusa i koji su naposljetku uspjeli, prva je uvela lijepljenje električno zagrijavanim napravama niskog napona u serijskoj proizvodnji spavaonica. Rezultati su bili tako dobri da su se za ovaj postupak počela zanimati i neka druga preduzeća i pokušavala ga uvesti.

Mjesto starog parnog zagrijavanja i lijepljenja niskotlačnom ili visokotlačnom parom u nezgrapnim presama, pored otpornog električnog zagrijavanja prodire također visokofrekventno dielektrično zagrijavanje, ali

njegovo područje primjene sasvim je drukčije od otpornog zagrijavanja. Visokofrekventno zagrijavanje je dubinsko, pri čemu se drvo zagrijava po cijelom presjeku jednoliko. Takvo zagrijavanje je brzo i ekonomično te podesno za serijsku proizvodnju i lijepljenje masivnijih drvnih proizvoda (sjedalica, skija, savinutog pokućstva i sl.).

Postoji još zagrijavanje infracrvenim zrakama koje je pogodnije za površinsko zagrijavanje.

Svaki od nabrojanih postupaka posjeduje u konkretnom slučaju prednosti, ali i nedostatke. Da bismo se mogli ispravno odlučiti za jedan od tih postupaka moramo poznavati svojstva sviju.

Ako se, dakle, nalazimo pred odlukom koji od poznatih i već spomenutih načina zagrijavanja treba da odaberemo za zagrijavanje naprava pri oblaganju i prešanju furniranih ili oblikovanih površina, razmotrit ćemo sve faktore s kojima moramo računati u industrijskoj proizvodnji. Osim individualnih uvjeta koji ovise o posebnim okolnostima svakog pogona, pri izboru treba da vodimo računa prvenstveno o ovim značajnijim faktorima:

- (1) u slučaju dubinskog zagrijavanja odlučit ćemo se za visokofrekventno, a u slučaju više površinskog zagrijavanja za elektrootporno;
- (2) za univerzalne uređaje s kojima se vrše razne operacije (lijepljenje letvica ili rubova raznih veličina i oblika) daje se prednost elektrootpornom zagrijavanju, a za specijalne svrhe i uređaje namijenjene za samo jednu trajnu vrstu operacija treba stvar razmotriti;
- (3) i brojne različite operacije oblaganja lijepljenjem koje treba obaviti u kratko vrijeme, tj. u jednoj smjeni ili čak u jednom satu, govore za primjenu elektrootpornog zagrijavanja;
- (4) od značaja je koju temperaturu traži vrsta ljepila koje se upotrebljava;
- (5) način zagrijavanja ovisi takodjer o obliku i veličini površine ob-

ložene furnirom;

- (6) treba voditi računa o tome kakvim izvorima energije raspoložemo i kakvi su troškovi za potrošenu energiju ili za njenu instalaciju;
- (7) na kraju je od odlučujućeg značaja ekonomska i tehnička analiza tehnološkog postupka.

## 1.2 L i j e p l j e n j e   e l e k t r o o t p o r n i m   z a g r i j a - v a n j e m

Kod sve veće upotrebe ljepila od sintetičkih smola, toplina igra mnogo važniju ulogu pri lijepljenju drveta nego ikada prije kada su se upotrebljavala organska ljepila. Baš se ljepila od sintetičkih smola odlikuju brzim, ubrzanim vezivanjem uz povećanu temperaturu. Temperatura ljepila povećaje se bilo razvijanjem topline u drvetu ili u samom ljepilu, ili pak time da se zalijepljeni spoj prisloni uz toplo tijelo ili površinu koja toplinu provodi kroz drvo do sloja ljepila. Toplina u drvetu ili u sloju ljepila razvoja se visokofrekventnim zagrijavanjem koje nazivamo "unutrašnjim zagrijavanjem"; visoka temperatura razvija se sloju ljepila, pri čemu površina drveta ostaje hladna. S "vanjskim zagrijavanjem", međjutim, toplina se provodi od grijaćeg tijela (na primjer s vrućom presom) kroz drvo do sloja ljepila. Vanjsko zagrijavanje imamo takodjer ako sloj ljepila spojimo tankom kovinskom trakom ili žicom kojom teče električna struja pa se zbog toga temperatura poveća.

Medju najznačajnija dostignuća u razvoju tehnologije izradbe pokućstva u posljednjim godinama ubrajamo uvođenje sintetičkih smola termodinamičkog tipa za proizvodnju ljepila. Ova ljepila prodiru vrlo naglo i istiskuju tradicionalna životinjska ljepila. U usporedbi sa životinjskim, sintetička ljepila posjeduju više značajnih prednosti: otporna su protiv vlage i protiv mikrobioloških napada, vrijeme stvrdnjavanja izvanredno je kratko, sloj ljepila znatno je čvršći, tvrdji itd.

Životinjska ljepila stvrdnjavaju se ohladjivanjem i gubitkom vlage. Već stvrdnuto takvo ljepilo može se vrućom vodom opet rastopiti. Prema tome

je proces kod životinjskih ljepila reverzibilan. Kod stvrdnjavanja pak sintetičkih termotvrdih ljepila nastupa kemijska reakcija koja se odvija brzinom ovisnom prvenstveno od dovodjenja topline. Toplinom se može kočiti ili ubrzavati stvrdnjavanje. Tvrdo ljepilo ne može se više omekšati - postupak dakle nije reverzibilan. Sintetičke smole su tolike osjetljive za toplinu, da bi već i sama razlika između tople i hladne radionice mogla u znatnoj mjeri uticati na vrijeme stvrdnjavanja.

Pokusi s ureaformaldehidnim ljepilom pokazali su da se zalijepljeni proizvod mora nalaziti u presi 6,5 sati kod temperature  $18^{\circ}\text{C}$  da bi se ljepilo stvrdilo. Kod temperature  $27^{\circ}\text{C}$  već je dostatno otprilike 2,5-satno prešanje, kod  $66^{\circ}\text{C}$  samo 6-minutno, dok su kod temperature  $88^{\circ}\text{C}$  dovoljno samo 2,2 minute da se ljepilo odgovarajuće stvrdne. Inače se danas proizvode i životinjska ljepila, stvrdnjavanje kojih se može ubrzati dovodjenjem topline, te bi prema tome ta ljepila do izvjesne mjere mogla konkurirati sintetičkim ljepilima, pod uvjetom da su otporna protiv vlage.

U ovom elaboratu ograničavamo se jedino na prikaz metoda kod kojih se razvija toplina zbog otpora električne struje u vodiču. Ovdje bi se mogle obuhvatiti takodjer prese s električno zagrijavanim pločama, no njihove karakterističnosti već su poznate, a u pogledu učinka one su potupno jednake presama koje se zagrijavaju parom. Međutim, velika prednost svih načina elektrootpornog zagrijavanja koji se obrađuju u ovom elaboratu posjeduju veliku prednost jer omogućuju proizvodnju sa visokim temperaturama u običnim hladnim presama (vidi slike 87 i 88!). Osim toga, ovi načini mogu se primijeniti na savinute i drukčije oblikovane proizvode, a da pri tome nisu potrebni skupi čelični kalupi i modeli. Mjesto njih upotrebljavaju se šablone od masivnog, lameliranog ili vezanog drveta.



## 2 ISTRAŽIVANJE OSNOVA ZA ELEKTROOTPORNO ZAGRIJAVANJE

### 2.1 P r e t v a r a n j e   e l e k t r i č n e   e n e r g i j e   u t o p l i n s k u   p o m o ć u   k o v i n s k i h   v o d i č a

Pri planiranju uređaja za stvrdnjavanje ljepila pomoću elektrootpornog zagrijavanja na svaki način treba poznavati fizikalne osnove pretvaranja električne energije u toplinsku i barem glavne zakone koji pri tome dolaze u obzir.

U današnjem općem tehničkom napretku, kada se život bez elektriciteta ne može više ni zamisliti, poznavanje osnova elektrotehnike trebalo bi ubrajati među predmete općeg ljudskog obrazovanja kao, na primjer, poznavanje stranih jezika, poznavanje literature itd. Ali pošto, na žalost, nije tako, te će ovaj rad dospjeti u ruke takodjer neelektrotehničarima i to u većini slučajevima, jer je pisan za potrebe drvnih pogona - moramo početi s prilično elementarnim konstatacijama.

Kao što je poznato, pri prolazu električne struje kroz električni otpor razvija se toplina. Svako tijelo kroz koje prolazi električna struja zagrije se u većoj ili manjoj mjeri. Ono se tim više zagrije što je veći njegov otpor i što je jača struja koja prolazi njime. Toplina se, međjutim razvija u dovodnim vodovima kroz koje teče električna struja istotako kao u grijalima. Razlika je jedino u tome da toplina u vodovima nije poželjna jer predstavlja gubitke energije, pa stoga nastojimo da tu toplinu smanjimo time da uzimamo vodiče sa što manjim otporom (debeli vodiči od bakra), dok u grijalima želimo da se razvije što više topline i nastojimo da tamo koncentriramo relativno više otpora.

Ova naša nastojanja nikada se ne ostvaraju stopostotno. Uvijek se nešto topline razvija u dovodima. Relativno gledamo, u dovodima se razvija onoliko postotaka topline koliko postotaka cjelokupnog omskog otpora strujnog kruga sadrže dovodi.

Gubitci u dovodima mogu se ograničiti time da se poveća debljina dovodnih žila, ali to je skopčano s velikim troškovima za bakar. Ako pak na-

suprot, da bismo smanjili troškove za bakar smanjujemo dimenzije dovodnih žila, nailazimo najprije na nerazmjerno visoke toplinske gubitke i konačno na toplinsku granicu kod koje se vodič već toliko zagrijava da izolacije više ne može podnijeti. U takvom slučaju moguć je samo jedan izlaz - umjetno hladjenje dovoda, obično vodom. Tom načinu približavamo jedino ako su iscrpene sve ostale mogućnosti.

Problem gubitaka u dovodima, i još naročito u nestručno izvedenim kontaktima, naročito je vruć baš u našem slučaju uređaja niskih napona za otporno zagrijavanje, i to u znatno većoj mjeri nego u uređajima koji se priključuju direktno na mrežni napon.

### 2.1.1 Električni otpor grijala i dovoda

Električni otpor nekog vodiča (dovodne žile ili grijala) može se izračunati po slijedećem obrazcu:

$$R = \frac{l \cdot \rho}{S} [\Omega] \quad (1)$$

gdje je:

R - otpor vodiča u omima,

l - dužina vodiča u m,

S - presjek vodiča u mm<sup>2</sup>,

$\rho$  - specifični otpor u  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  (konstanta materijala koja vrijedi za temperaturu 20°C).

Budući da se specifični otpor materijala mijenja s temperaturom, moramo navesti i u tu ovisnost:

$$\rho_1 = \rho [1 + \alpha (t_1 - 20)] \quad (2)$$

gdje je:

$\rho_1$  - specifični otpor kod temperature  $t_1$ ,

$\rho$  - specifični otpor kod 20°C (dobiva se iz tabela),

$t_1$  - temperatura vodiča,

$\alpha$  - temperaturni koeficijent otpora (dobiva se u tabelama za pojedine materijale).

U donjoj tabeli navedeni su podaci za specifični otpor kod  $20^{\circ}\text{C}$ , kod  $150^{\circ}\text{C}$  i temperaturni koeficijent otpora  $\alpha$  za neke materijale koji dolaze u obzir kod uređaja za elektrootporno zagrijavanje.

| Materijal                                | $\frac{\Omega}{\text{mm}^2/\text{m}}$ $20^{\circ}\text{C}$ | $\alpha$  | $\frac{\Omega}{\text{mm}^2/\text{m}}$ $150^{\circ}\text{C}$ |
|--|--|-----------|---|
| Aluminij                                 | 0,029  | 0,004 09  | 0,044   |
| Bakar                                    | 0,017 8  | 0,003 92  | 0,026 9   |
| Željezo                                  | 0,10   | 0,006     | 0,178   |
| Čelik                                    | 0,10...0,25  | 0,005     | 0,165...0,413   |
| Legirani dinamo ili transformatorski lim | 0,27...0,67  |           |   |
| Cink                                     | 0,06   | 0,004 1   | 0,092   |
| Konstantan                               | 0,50   | -0,000 05 | 0,50  |
| Kromnikalj                               | 1,1  | 0,000 053 | 1,1   |
| Kanthal DS                               | 1,35   | 0,000 063 | 1,35  |

Često se upotrebljava takodjer pocinčana željezna žica ili pocinčani željezni lim. Pri računanju otpora uzima se jednostavno specifični otpor osnovnog materijala, možda povećan za nekoliko postotaka, jer je sloj cinka razmjerno tanak u odnosu na debljinu trake ili žice.

Kao što se vidi iz tabele, legirani dinamo ili transformatorski lim ima prilično velik specifični otpor i zato se s uspjehom upotrebljava za grijanje širokim trakama. Specifični otpori limova te vrste vrlo su različiti, a vrijednosti  $\alpha$  niti se ne navode. Specifični otpor treba posebno za svaki slučaj izmjeriti (izračuna se iz jednadžbe na strani 20), ili se pak računa s nekom srednjom vrijednošću specifičnog otpora te se pogreške poslije korigiraju mijenjanjem napona transformatora.

Primjer. Željezna traka za zagrijavanje rubova stolova ima dimenzije: dužina  $l = 2,57$  m, širina  $s = 0,2$  m, debljina  $d = 0,31$  mm. U pogonu teče kroz tu traku struja  $I = 360$  A, a izmjereni napon između krajeva trake iznosi  $U = 3,1$  V. Specifični otpor se dobiva iz obrazca na strani 13:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}$$

Budući da je  $R = U/I$ , pri čemu je

$U$  - napon u V,

$I$  - struja u A,

$R$  - otpor u omima,

dobiva se

$$\rho = \frac{U \cdot S}{I \cdot l} = \frac{3,1 \cdot 200 \cdot 0,31}{360 \cdot 2,57} = 0,208 \, \Omega \, \text{mm}^2/\text{m}$$

S ovom vrijednošću za  $\rho$  potom se pri projektiranju budućih grijala iz tog materijala takodjer računa.

## 2.1.2 Snaga grijala i gubici u dovodima

Količina topline koja se u nekom tijelu razvije u jedinici vremena jednaka je električnoj snazi i navodi se u vatima (W), a izračuna se pomoću jednadžbe:

$$P = U \cdot I = I^2 R \quad (3)$$

gdje je:

P - snaga u W,

U - napon u V,

I - struja u A,

R - otpor u omima.

P r i m j e r . Za grijalo iz prijašnjeg primjera (2.1.1) izračunat ćemo električnu snagu ( $U = 3,1 \text{ V}$ ,  $I = 360 \text{ A}$ ):

$$P = 3,1 \cdot 360 = 1116 \text{ W}$$

Suma snaga svih grijala plus gubici u dovodima, a koje gubitke isto tako izračunamo pomoću jednadžbe (3), približno nam određuju veličinu potrebnog transformatora.

P r i m j e r . Računanje gubitaka u dovodima za grijalo iz prijašnjeg primjera; dovodi su od bakra ( $\rho = 0,022 \, \Omega \, \text{mm}^2/\text{m}$  kod temperature  $80^\circ\text{C}$ ) presjeka  $S = 50 \text{ mm}^2$  i dužine  $l = 5 \text{ m}$ . Kao što je već navedeno, struja koja teče kroz grijalo i dovode iznosi  $I = 360 \text{ A}$ .

$$P = I^2 R = I^2 \frac{l \cdot \rho}{S} = 360^2 \cdot \frac{5 \cdot 0,022}{50} = 284 \text{ W}$$

Prema tome je cjelokupna snaga koju mora davati transformator:

$$P_{\text{uk}} = 1116 + 284 = 1400 \text{ W}$$

Osim gubitaka energije u dovodima i s tim gubitcima skopčanog pada napona, kod izmjenične struje pojavljuje se takodjer induktivni pad napona koji direktno ne znači gubitak energije nego gubitak napona. U niskona-  
panskim uređajima u slučaju velikih struja prilično su veliki induktivni

padovi napona. U normalnim konstrukcijama uređaja za elektrootporno zagrijavanje, gdje imamo posla s više stotina ampera struje u dovodima, induktivni padovi napona približno su istog veličinskog reda kao i omski padovi napona.

Budući da induktivni padovi napona uvelike ovise o tome kako je vod položen i od okoline, teško se mogu izračunati, Zato računanje prepuštamo stručnjacima, dok ćemo mi te gubitke napona aproksimirati u visini omskih padova napona. U našem posljednjem primjeru vrijedi: nazivnu snagu transformatora povećat ćemo za približno 20 %, te će ona onda iznositi:

$$P = 1700 \text{ VA}$$

Nazivna snaga transformatora uvijek se navodi u voltamperima (VA).-

### 2.1.3 Specifična snaga električnog grijala

Iz samog podatka o snazi grijala kako smo je izračunali u prijašnjem odsjeku još se ne može zaključivati koliku će temperaturu postići grijalo, jer nam nije poznato naolikoj se površini ta snaga troši. Vidimo da je izvanredno važan podatak o specifičnoj snazi električnog grijala "p", koji nam kaže koliko je vata električne snage koncentrirano na 1 m<sup>2</sup> površine grijala:

$$p = \frac{P}{S} \quad (4)$$

gdje je:

P - specifična snaga grijala u W/m<sup>2</sup>,

P - snaga grijala u vatima (W),

S - površina grijala u m<sup>2</sup>. (U slučaju plosnatih grijala uvijek se mjeri samo jedna strana grijala, jer je druga strana obično toplinski izolirana te grijalo predaje toplinu pretežno u jednom smjeru. Iznimka su lamelna grijala koja se postavljaju između dva komada te se toplina korisno odvodi u oba smjera).

Prema tome, iz veličine "p" - specifične snage grijala - dobiva se predožbka o intenzivnosti grijanja odnosno o temperaturi koju će grijalo poslije nekog vremena postići. Specifična snaga je najkarakterističniji i najupotrebljiviji podatak svakog grijala.



Kako ćemo vidjeti iz slijedećih izlaganja, vrijeme koje je potrebno za stopototno stvrdnjavanje ljepila ovisi o temperaturi kao i o vremenu u kome se ta temperatura postigne. Što je veća specifična snaga "p" to brže se ljepilo stvrdnjava i to prije je završen proces lijepljenja. Razumije se da i stepenovanje specifične snage ima svoje granice.

Specifične snage grijala za otporno lijepljenje variraju između slijedećih vrijednosti:

$$p = 1000 \text{ do } 9000 \text{ W/m}^2$$

Što uvelike ovisi o vrsti i izvedbi grijala, a i o željenoj brzini postupka. Vidimo da razlike mogu biti vrlo velike. Sa stanovišta pogona bilo bi skoro uvijek bolje primjenjivati najveće specifične snage. Postoje, međutim, i ekonomski razlozi koji nam to ne dozvoljavaju. Velike priključne snage uvelike povećaju mjesečni vršak pri obračunu potroška struje. Ali o tome poslije.

U poglavlju 3 navedeno je nekoliko uputstava za izbor pogodnog površinskog opterećenja pri projektiranju grijala, a niže dolje navodimo dva primjera kako se na već izradjenom uređaju utvrđuje specifična snaga grijala i potom kako se taj podatak upotrebljava pri proračunu novog uređaja.

**P r i m j e r .** Za grijalo iz prijašnjih odsjeka ovog poglavlja treba odrediti specifičnu snagu ako je cjelokupna snaga  $P = 1116 \text{ W}$  i površina  $S = 0,514 \text{ m}^2$ :

$$p = \frac{P}{S} = \frac{1116}{0,514} = 2170 \text{ W/m}^2$$

**P r i m j e r .** Treba izračunati otpor četiriju grijala prese za furniranje vrata ormara. Cjelokupna površina grijaćih ploha iznosi  $4 \cdot 1,5 = 6 \text{ m}^2$ . Treba odrediti također potrebnu struju kroz grijala, ako napon koji se troši na grijalima treba da iznosi  $35 \text{ V}$ , dok je specifična snaga ista kao i u prijašnjem primjeru ( $p = 2170 \text{ W/m}^2$ ). Odrediti potrebnu električnu snagu (gubitke u dovodima ne uzimamo u obzir!)

$$P = S \cdot p = 6 \cdot 2170 = 13\,020 \text{ W ili } \underline{13,02 \text{ kW}}$$

$$I = P : U = 13\,020 : 35 = \underline{372 \text{ A}}$$

$$R = U : I = 35 : 372 = \underline{0,094 \Omega}$$

Prema tome, otpor jednog grijala iznositi će 0,0235 oma. Na osnovu tih rezultata potom se odrede grijala (dimenzije grijaćeg lima, meandara, mreža itd. - v.poglavlje 4!).

#### 2.1.4 Problem izbora pogonskog napona

Grijala koja se upotrebljavaju za elektrootporno lijepljenje mogu biti gradjena za direktni priključak na mrežni napon (naprimjer 220 V/380 V) ili pak za priključak na posebni transformator kojim se smanjuje napon.

Skoro isključivo se upotrebljavaju grijala za niski napon i jedino u rijetkim slučajevima grijala za priključak na mrežni napon. Navodimo nekoliko važnijih konstatacija koje utiču na izbor pogonskog napona.

Grijala izvedena za direktni priključak na mrežu posjeduju jednu dobru osobinu, ne traže naime posebni transformator koji inače poveća cjelokupne troškove, a i uređaj je kompliciraniji. Grijala na mrežni napon ne poznaju teškoće s kontaktima, koji u slučaju grijala za vrlo nizak napon već postaju problem. Veliki je pak nedostatak grijala ove vrste u tome, da se ona mogu teško - naročito u pogledu mogućnosti tvorničkih radionica - izraditi tako da zbog velike visine pogonskog napona ne bi bila opasana po život, ili pak da to ne bi s vremenom postala. Hidraulične ili slične prese većinom su teške željezne konstrukcije koje okolinom i načinom rada na tom radnom mjestu još više povećavaju opasnost. Jedino najpomniji izradba grijala, uzimajući u obzir sve mjere bezbjednosti i propise te vrlo česte kontrole u toku pogona, mogu jamčiti za sigurnost i opravdanost izbora grijala te vrste. Izradbu grijala na mrežni napon ne bismo mogli preporučiti pojedinim radionicama, nego jedino elektrotehničkim tvornicama i stručnjacima.

Prednost primjene niskog napona sastoji se u slijedećem: Izradba grijala jednostavna je i toj izradbi je dorasla skoro svaka radionica, grijala su robustna i teško se uništavaju, vrlo su jeftina, ne postoji nikakva opasnost po život zbog strujnog udara. - Loše su pak strane: Grijalima je potreban transformator koji mrežni napon smanjuje na neopasnu visinu, žile potrebne za dovod struje vrlo su debele i zato nezgrapne i skupe, nestručno izvedeni

kontakti često predstavljaju teškoće, neispravno položene dovodne žile mogu imati velike induktivne padove napona koji pogoršavaju cos $\varphi$ . Kao što ćemo vidjeti, spretnošću može se premostiti većina tih teškoća.

Osim u nekim posebnim slučajevima i dok nisu na raspolaganju tvornički izradjena grijala za mrežni napon preporučujemo j e d i n o g r i j a - l a n a n i s k i n a p o n.

Da bi se izbjegle navedene teškoće koje prate uređaje sitnog napona, o visini sitnog napona treba posebno raspravljati.

Prema propisima koji su na snazi (JUS, VDE itd.), s i t n i n a p o n s m i j e p o s t i ć i 42 V. D o t e v i s i n e n a p o n a j o š n i s u p o t r e b n e n i k a k v e m j e r e b e z - b j e d n o s t i .

Razmotrimo li ponovo jednadžbu (3),  $P = U \cdot I$ , vidimo da kod iste snage struja mora biti vrlo velika ako je napon sitan. Budući da velike struje prouzrokuju velike padove napona i zato traže vrlo debele i skupe dovodne žile, a isto tako prouzrokuju teškoće i pri izvedbi kontakta, n a - s t o j i m o d a s t r u j e b u d u š t o m a n j e , a t o s e p o s t i z a v a t i m e d a s e o d a b e r e š t o v i š i n a p o n , dakle 42 V. Tako se radi ako je ikako moguće pod uvjetom da tehnologija ne traži drukčije.

U slučaju malih uređaja, kada snaga grijala iznosi samo nekoliko kilovata, a naročito tamo gdje se kao grijala upotrebljavaju široke limene trake, može se upotrebljavati znatno niži napon, kako bi grijala bila robustnija. Problem dovoda još se neće pojaviti. Općenito vrijedi pravilo: Š t o v i š a j e p r i k l j u č n a s n a g a u r e đ j a - j a t o v i š i m o r a b i t i p o g o n s k i n a p o n , da bi struja grijala ostala u podnošljivim granicama i da bi se uštedjilo na bakru dovoda.

Uz problem izbora pogonskog napona trebalo bi spomenuti takodjer češka iskustva. Česi naime općenito upotrebljavaju za sniženje mrežnog napona transformatore za zavarivanje. Napon u praznom hodu transformatora za

lučno zavarivanje iznosi oko 70 V, no u pogonu s nazivnom strujom taj napon se smanji na oko 35 V. Time što su se odlučili za takav transformator, Česi su dobili veliku prednost - kontinuiranu regulaciju u vrlo širokim granicama. Slaba pak strana upotreba transformatora za zavarivanje je vrlo loš  $\cos \varphi$ , a isto tako i loša korisnost, naročito ako se radi s preniskim naponima. Više o tome u poglavlju (4.1.5).

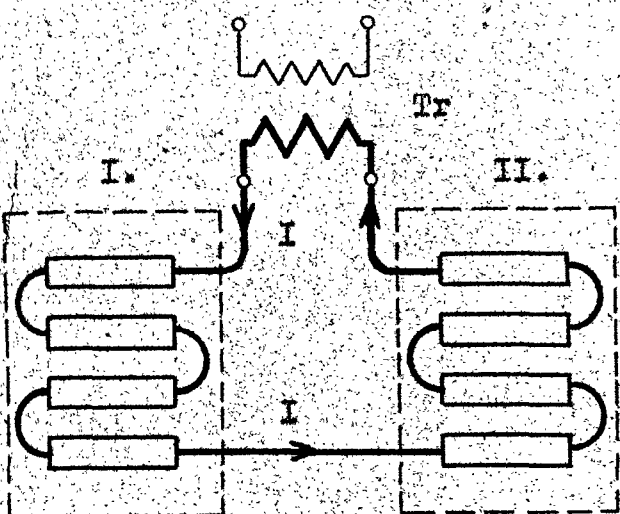
## 2.1.5 Serijski i paralelni spoj grijala.

U uređajima za niskonaponsko otporno zagrijavanje u svrhu stvrdnjavanja ljepila obično se ugrađuje više grijala, koja po nekom sistemu moraju biti među sobom električno spojena i priključena na transformator.

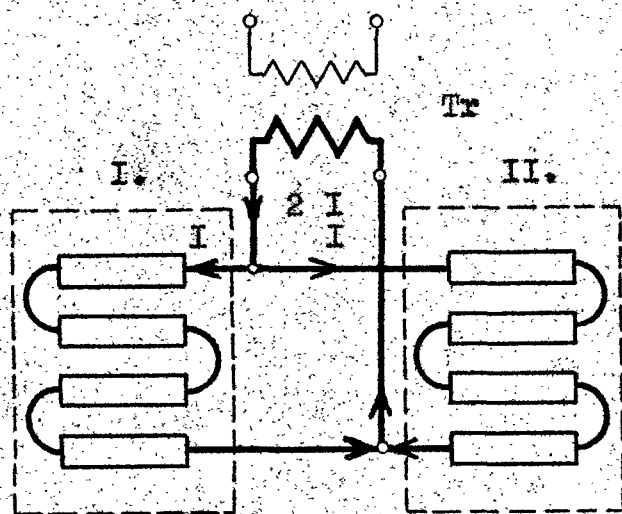
Obično su sva grijala spojena u seriji. Na slici 1 shematski je prikazan serijski spoj četiriju grijala prese I i prese II. Oba sistema grijala (obje prese, I i II) potom su opet spojene u seriji, pak su na taj način sva grijala spojena u seriji. Napon potreban za ovu kombinaciju najveći je i zato struja najmanja. Kroz sva grijala teče ista struja, eventualni loši kontakti pri spoju grijala ne utiču na raspodjelu struje, jednolikost zagrijavanja svih grijala najveća je u serijskom spoju.

Ako bi napon koji je potreban u serijskom spoju grijala bio prevelik (veći od 42 V), treba primijeniti paralelni spoj ili pak kombinirani spoj grijala. Takav spoj prikazan je na slici 2.

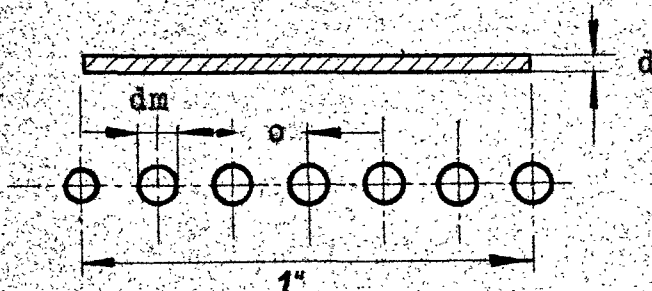
Ovdje su grijala obje presa, I i II, još uvijek spojena u seriji, ali potom su oba sistema priključena paralelno na transformator Tr. Ako je otpor obje sistema grijala jednak, struja transformatora jednoliko se raspodijeli na obje grane. U slučaju vrlo niskih otpora grijala, međjutim, prijelazni otpori na kontaktima igraju veliku ulogu te bi mogli uvelike uticati na podjelu struje u paralelnim granama. Time je znatno narušena jednolikost zagrijavanja. Već i različitim silom pritegnuti vijci stezaljki, ili pak drukčije položeni vodiči (drugi induktivni otpor) mogu uticati na raspodjelu struja. Zato neka vrijedi pravilo: Ako pojedine grane rade samo s nekoliko volta napona, pod nikakvim uvjetom ne smiju se spajati paralelno.



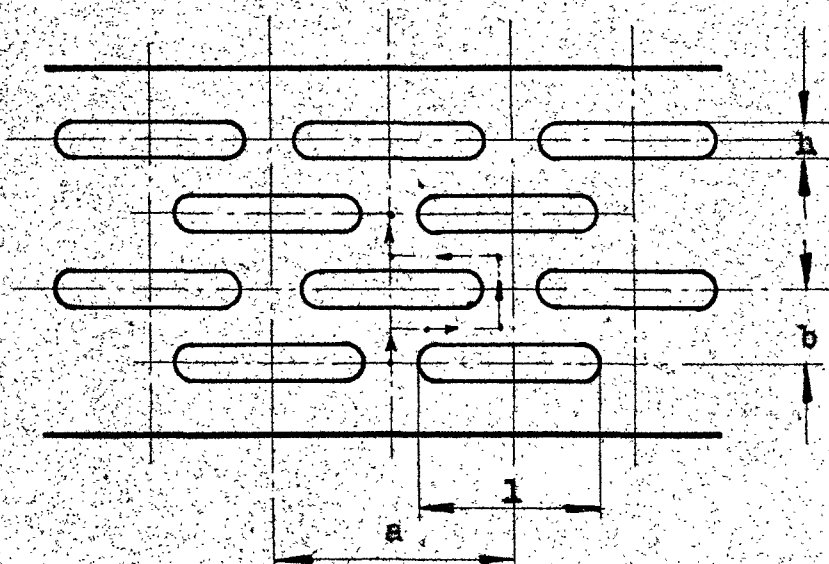
Slika 1. Serijski spoj  
grijala presa I i II



Slika 2. Kombinirani spoj  
grijala presa I i II



Slika 4. Uz pojam "mreži ekvivalentna debljina lima"



Slika 5. Uz proračun ekvivaletne debljine perforiranog lima

Paraleno se spajaju grane koje rade s višim naponima, na primjer od 10 V nagore, i to ako je prijeko potrebno.

## 2.1.6 Proračun grijala

2.1.6.1 Pojam površinskog otpora. - Pri računanju plosnatih grijala zgodno se primjenjuje površinski otpor "r", to jest otpor između dviju suprotnih stranica plosnatog grijala koje ima oblik kvadrata. Pri tome nije od značaja koliki je kvadrat, njegove stranice mogu biti po volji velike. Otpor između dviju suprotnih stranica biti će u svakom slučaju isti, ako imamo posla s istom debljinom lima od istog materijala. Budući da je u kvadratu dužina  $l$  jednaka širini  $š$ , po Ohmovem zakonu je:

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{\rho l}{d \cdot š} = \frac{\rho}{d} = r$$
$$r = \frac{\rho}{d} [\Omega] \text{ (oma na jedinicu površine)}$$

Ako se vrijednosti za  $\rho$  umetnu u  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  i za  $d$  u mm, ta jednadžba glasi:

$$r = \rho/d \cdot 10^{-3} [\Omega]$$

Navodimo nekoliko površinskih otpora za Al lim, za željezni lim, za transformatorski lim i za kanthal.

| Materijal                  | Debljina    | r pri 20°C [Ω]                | r pri 120°C [Ω]          |
|----------------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------|
| Al - folija                | d = 0,10 mm | 0,29 · 10 <sup>-3</sup>       | 0,41 · 10 <sup>-3</sup>  |
|                            | 0,20 mm     | 0,145 · 10 <sup>-3</sup>      | 0,205 · 10 <sup>-3</sup> |
|                            | 0,50 mm     | 0,058 · 10 <sup>-3</sup>      | 0,082 · 10 <sup>-3</sup> |
|                            | 0,80 mm     | 0,036 · 10 <sup>-3</sup>      | 0,051 · 10 <sup>-3</sup> |
| Željezna pločevina         | d = 0,35 mm | 0,285 · 10 <sup>-3</sup>      | 0,46 · 10 <sup>-3</sup>  |
|                            | 0,50 mm     | 0,20 · 10 <sup>-3</sup>       | 0,32 · 10 <sup>-3</sup>  |
|                            | 0,60 mm     | 0,17 · 10 <sup>-3</sup>       | 0,27 · 10 <sup>-3</sup>  |
|                            | 0,80 mm     | 0,12 · 10 <sup>-3</sup>       | 0,20 · 10 <sup>-3</sup>  |
| Transformatorska pločevina | d = 0,35 mm | 0,78...1,9 · 10 <sup>-3</sup> |                          |
|                            | 0,50 mm     | 0,54...1,2 · 10 <sup>-3</sup> |                          |
| Kanthal DS                 | d = 0,30 mm | 4,5 · 10 <sup>-3</sup>        | 4,5 · 10 <sup>-3</sup>   |

Analogno se dobiva površinski otpor mreža pomoću slijedećeg obrasca:

$$r = \frac{P \cdot 0,0254}{n \cdot S} \quad \Omega/\text{jedinicu površine (za mreže)}$$

ako je:

$P$  - u Ω · mm<sup>2</sup>/m

$n$  - broj mreže (broj zamki na palac)

$S$  - presjek žice od koje je ispletена mreža u mm<sup>2</sup>

Ukupni otpor grijala izračuna se po obrascu:

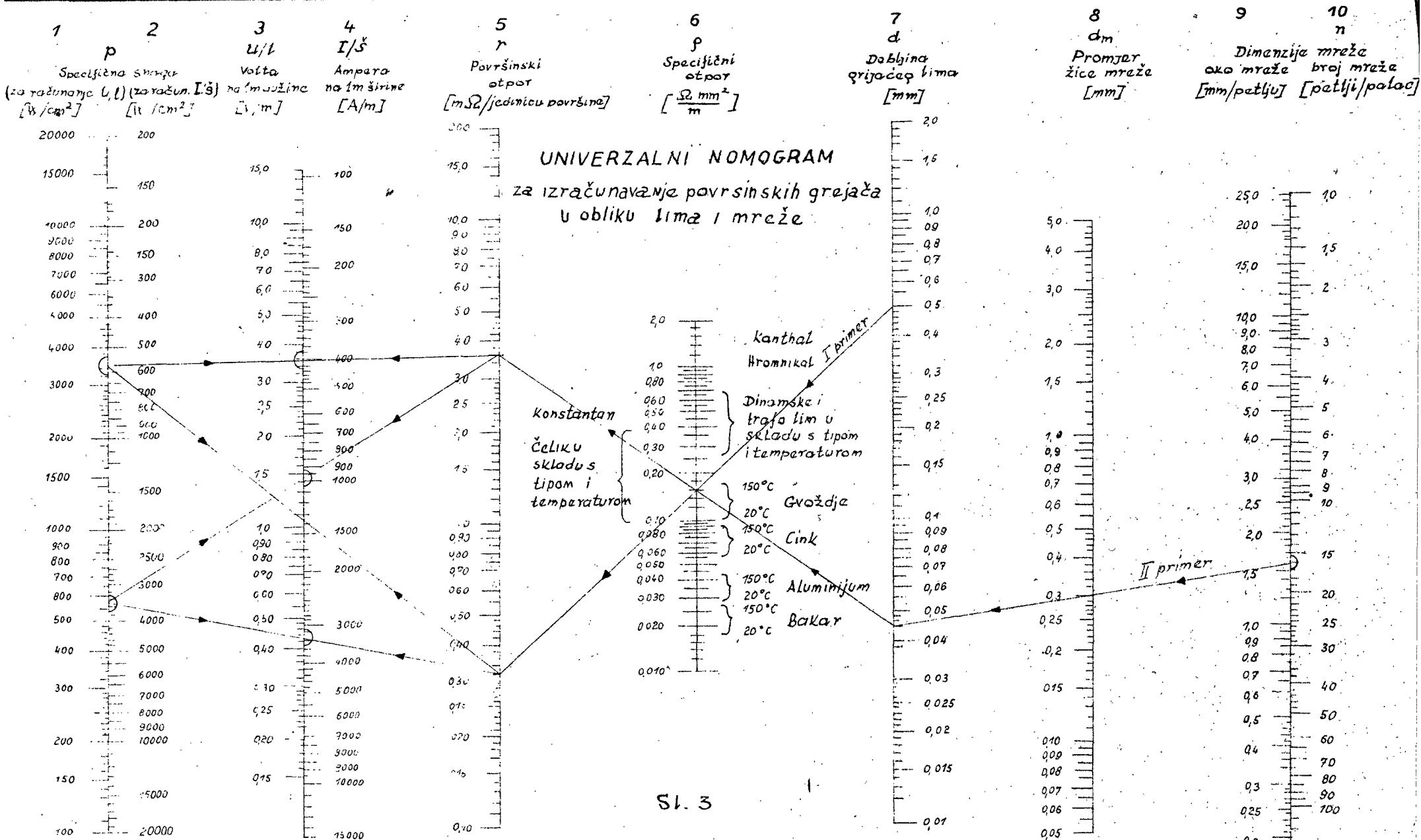
$$R = r \frac{l}{S}$$

P r i m j e r. Koliki je otpor grijaće trake od željeznog lima duge 2 m, široke 10 cm i debljine 0,6 mm kod temperature 1200°C ?

$$R = 0,27 \cdot 10^{-3} \frac{2,0}{0,1} = 5,4 \cdot 10^{-3} \Omega$$

2.1.6.2 Nomogram za proračun grijala. - Mnogo brže nego računom dobivaju se podaci za dimenzioniranje grijala pomoću nomograma. Za grijala u obliku lima ili mreže sastavili smo nomogram koji je prikazan na slici 3.

Nomogram se sastoji od 10 skala u logaritamskom mjerilu, od kojih po



Sl. 3

$$\frac{U}{l} = \sqrt{p \cdot r} \quad \text{ili} \quad \frac{I}{\delta} = \sqrt{\frac{p}{r}}$$

$$r = \frac{\rho}{d}$$

$$d = \frac{\pi d_m^2}{46} \quad \text{ili} \quad d = \frac{\pi d_m^2 n}{4.1''}$$



3 skale na susjednim vertikalama predstavljaju jednu računsku operaciju. Ukupno je dakle 5 računskih operacija. Pripadajući matematski oblici tih operacija pripisani su uz svaku skupinu po tri vertikale, kako bi se rezultat mogao izračunati takodjer u slučaju kada se traži veća tačnost.

Prva skupina od tri vertikale. Napon na jedinicu dužine grijala kao funkcija specifične snage i površinskog otpora:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{U^2}{RS} \quad \text{i budući da je}$$

$$R = r \frac{\ell}{\bar{s}} \quad \text{i} \quad S = \ell \cdot \bar{s}, \text{ vrijedi:}$$

$$\frac{U}{\ell} = \sqrt{p \cdot r} \quad (\text{za sastavljanje nomograma važan je logaritamski oblik jednačbe}).$$

$$\log p + \log r = 2 \log (U/\ell)$$

Budući da je  $K = 1$ , znači da je logaritamska jedinica za sve tri skale skale jednako velika, sve tri skale idu u pozitivnom smjeru.

Druga skupina od tri vertikale. Struja na jedinicu širine grijala kao funkcija specifične snage i površinskog otpora:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{I^2 R}{S}$$

$$R = r \frac{\ell}{\bar{s}}, \quad S = \ell \cdot \bar{s}$$

$$\frac{I}{\bar{s}} = \frac{p}{-r}$$

$$\log r - \log p = -2 \log (I/\bar{s})$$

Sve tri logaritamske jedinice jednako su velike, a skala  $p$  i skala  $I/\bar{s}$  idu <sup>u</sup> negativnom smjeru.

Treća skupina od tri vertikale. Površinski otpor kao funkcija specifičnog otpora materijala i debljine lima:

$$r = \frac{\rho}{d}$$

$$\log r + \log d = \log \rho$$

Logaritamska jedinica za  $\rho$  ima jednu polovinu veličine, a sve tri skale idu u pozitivnom smjeru.

Četvrta i peta skupina od tri vertikale. Proračun grijaćoj mreži ekvivalentne debljine lima (slika 4):

Ako ekvivalentni lim treba da ima isti presjek kao i uzdužne niti grijaće mreže, može se pisati:

$$l'' \cdot d = n \cdot \frac{\pi}{4} d_m^2$$

Budući da je:

$n$  = broj zamki na jedan palac i:

$$n \cdot o = l''$$

je

$$d = \frac{\pi}{4 \cdot o} \cdot d_m^2 \quad \text{i} \quad d = \frac{\pi \cdot n}{4 \cdot l''} \cdot d_m^2$$

$$\log d + (\log o - \log \frac{\pi}{4}) = 2 \log d_m$$

Sve logaritamske jedinice jednako su velike i osim skale  $n$  sve idu u pozitivnom smjeru. Skala  $o$  je za  $\pi/4$  pomaknuta u pozitivnom smjeru.

Upotrebu nomograma objasniti ćemo na slijedećem primjeru:

**P r i m j e r :** Za neku veću presu treba izračunati grijala. Presa mora imati šest grijaćih ploha dimenzija 1,80 m . 0,80 m. Obzirom na vrstu artikla koji će se izradjivati odlučili smo se za specifičnu snagu 3500 W/m<sup>2</sup> (v.preporuke u poglavlju 3!).

Sada možemo odmah kontrolirati da li je transformator koji je na raspolaganju dostatno moćan da podnese to opterećenje. Zato ćemo najprije izračunati potrebnu snagu.

$$S = 6 \cdot 180 \cdot 0,80 = 8,64 \text{ m}^2$$

$$P = S \cdot p = 8,64 \cdot 3500 = 30\ 000 \text{ W} = 30 \text{ kW}$$

Na jednu fazu, ne bi se smjela priključiti tako velika snaga, zato treba uzeti trofazni transformator. Ako je on na raspolaganju, predvidjet ćemo priključak po dva grijala na svaku fazu. Na taj način dobivamo simetrično opterećenje; na svaku od tri faze priključeno je po 10 kW. Računamo samo jedan par grijala, koliko otpada na jednu fazu. Ostala dva para jednaka su.

Na raspolaganju nam je željeni lim debljine  $d = 0,5 \text{ mm}$  i pretpostavljamo da pogonska temperatura iznosi 120°C. Na skali 7 nomograma (slika 3) potražimo tačku 0,5 mm, a na skali 6 specifični otpor za željezo koji odgovara temperaturi 120°C (0,16  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ). Pravac kroz ove dvije tačke određuje površinski otpor na skali 5 ( $r = 0,32 \text{ m} \Omega / \text{jedinicu površine}$ ). Tačku na traženu specifičnu snagu  $p = 3500 \text{ W/m}^2$  na skali 1 spojimo s dobivenom tačkom na skali 5 te na skali 3 već možemo očitati rezultat - napon na jedinicu

jedinicu dužine grijala  $U/\ell = 1,06 \text{ V/m}$ . Isto tako dobijamo na skali 4 vrijednost za struju na jedinicu širine grijala  $I/\delta = 3300 \text{ A/m}$ , ako tačku 3500 W/m<sup>2</sup> na skali 2 spojimo sa spomenutom tačkom na skali 6.

Za jedinicu grijala potrebni su napon i struja:

$$U = 1,80 \text{ m} \cdot 1,06 \text{ V/m} = 1,91 \text{ V}$$

$$I = 0,80 \text{ m} \cdot 3300 \text{ A/m} = 2640 \text{ A}$$

U svakoj fazi su po 2 grijala. Ako bismo ih spojili u seriju, bio bi potreban napon 3,82 V i struja 2640 A, a to ni izdaleka nisu optimalne vrijednosti (v.odsjek 2.1.4!). Zato grijači lim razrežemo uzdužno u meander ili pak u pojase koje spojimo paralelno (v.detaljan opis izvedbe grijala u poglavlju 4.1!). Grijači lim 1,80 . 0,8 m razrežemo u 8 pojasa širine po 10 cm te se za pojedino grijalo dobiju slijedeće vrijednosti napona i struje:

$$U = 8 \cdot 1,80 \text{ m} \cdot 1,06 \text{ V/m} = 15,2 \text{ V}$$

$$I = 0,01 \text{ m} \cdot 3300 \text{ A/m} = 330 \text{ A}$$

Za dva grijala u seriji iznosi napon  $U = 30,4 \text{ V}$ , a to je veoma povoljno. Ako je trofazni transformator spojen na sekundarnoj strani u trokut, to je linijski napon, a ako se spojen u zvijezdu, to je fazni napon. Radije se uzima trokutni spoj, jer bi u zvjezdastom spoju linijski napon već bio veći od dozvoljenih 42 V ( $30,4 \cdot \sqrt{3} = 52,6 \text{ V}$ ), a uz to su u trokutu samo tri dovodne žile, dok su u zvijezdi četiri. Grijala se spoje u trokut i time je već dana mogućnost da se preklapanjem u zvijezdu snaga smanji na 1/3. Po dovodima teče tada struja  $330 \cdot \sqrt{3} = 572 \text{ A}$ .

Kontrolirajmo sada još snagu!

$$P = 30,4 \text{ V} \cdot 572 \text{ A} \cdot \sqrt{3} = 30,1 \text{ kW}$$

što znači da je račun pomoću nomograma prilično tačan. Pri svemu tome, međjutim, treba računati da je početna struja znatno veća, jer je otpor grijala kod niže temperature manji. To vrijedi naročito za željezo. Ta struja se izračuna pomoću nomograma, ako je poznato kod koje temperature grijala počinje ciklus.

Grijalo kakvo smo upravo opisali može se s nešto spretnosti izraditi u svakoj radionici. Ako pak nemamo takvog osoblja, odlučit ćemo se radije za grijalo u obliku mreže. Doduše, takvo grijalo je nešto manje trajnosti, ali zato je izvedba vrlo jednostavna.

P r i m j e r . Za presu iz prijašnjeg primjera s istim podacima i zahtjevima računamo grijalo u obliku mreže. Na raspolaganju imamo pocinčanu željeznu mrežu br. 16 ( $n = 16 \text{ zamki/palac}$ ), promjer žice mreže iznosi  $d_m = 0,3 \text{ mm}$ .

Kroz tačke koje odgovaraju tim vrijednostima na skalama 9 i 10 nomograma povučemo pravac do presjecišta sa skalom 7. Na taj način dobijemo mreži

ekvivalentnu debljinu lima "d". Nastavljamo kao u prijašnjem primjeru. Pomoću još triju pravaca dobijemo rezultate:

$$U/\ell = 3,5 \text{ V/m} \quad \text{i} \quad I/s = 990 \text{ A/m}$$

Ako u ovom primjeru podijelimo grijaću plohu uzdužno na tri pojasa, naponi i struje jednog grijala iznositi će:

$$U = 3 \cdot 1,8 \cdot 3,5 = 18,9 \text{ V}$$
$$I = 0,266 \cdot 990 = 264 \text{ A}$$

Za dva fazna grijala u seriji biti će potrebno 37,8 V. Kod spoja grijala u trokutu iznose struje u dovodima:

$$264 \cdot \sqrt{3} = 457 \text{ A}$$

i cjelokupna snaga:

$$P = \sqrt{3} \cdot 37,8 \cdot 457 = 30\,000 \text{ W}$$

što potvrđuje račun.

Prednost primjene nomograma sastoji se u činjenici da se u vrlo kratko vrijeme može izvesti gomila računa varirajući razne parametre i približavajući se na taj način najboljem rješenju.

Da bi se takodjer toplinski račun (koji navodimo u slijedećim odsjecima) što je moguće bolje podudarao sa zboljskim tokom, kod grijala koja se za vrijeme pojedinih ciklusa ohladjuju treba uzimati srednju temperaturu (skala 6). Izračunane struje pojavljivat će se u slučaju solidne gradnje grijala jedino kod te temperature. Struja će varirati takodjer do  $\pm 30\%$ . To se ne može izbjeći sve dok se radi s jeftinim materijalima kao što su željezo, čelik, transformatorski lim itd., koji imaju velikog. Kod grijala iz konstantana, kromnika, kanthala i sličnih skupljih materijala razlike će iznositi samo nekoliko postotaka.

2.1.6.3 Ekvivalentna debljina perforiranog lima. - Već u primjeru na strani 25 smo vidjeli da za grijala velikih površina nije sasvim pogodan lim u cijelome, jer ta grijala traže prevelike struje uz prenizak napon. Zato smo ih morali rezati u meandre ili pojase, ili smo ih pak zamijenili mrežom koja ima znatno veći otpor na jedinicu površine.

Jedno od sredstava za povećanje površinskog otpora je takodjer perforiranje lima. Time se staza struje produži i presjek smanji. Otpor se znatno poveća. Postoje slučajevi da su se otpadne perforirane trake "štanca" upotrebljavale za grijala pri grijanju prostorija u podu ili zidovima. Postoje takodjer slučajevi da su baš ta grijala prouzrokovala požare zbog lokalnih pregrijavanja na suženim mjestima. Te otpadne trake obič-

no nisu pogodne za grijala jer su električne staze izmedju pojedinih rupa jako različitih širina. Lim za električno grijalo obično treba posebno perforirati i pri tome paziti da ne nastaju suženja.

Na slici 5 vidimo jedan od takvih limova, a mi želimo odrediti ekvivalentnu debljinu neperforiranog lima, kao što smo to učinili kod žične mreže. Na taj način možemo upotrebiti nomogram za proračun grijala.

Na slici je označena staza električne struje izmedju pojedinih perforacija, a isto tako i pojedinih dimenzija. Ako je

$R$  - otpor neperforiranog lima i

$R_1$  - otpor perforiranog lima, onda je

$$R_1 = m \cdot R$$

i

$$m = \frac{R_1}{R} = \frac{4 / a - h /}{\frac{2 b}{a}} + \frac{\ell}{2 / b - h /}$$

$$m = \frac{2 a / b - h /}{b / a - \ell /} + \frac{a \ell}{4 b / b - h /}$$

Prema tome se za  $m$ -puta poveća otpor perforiranog lima. Ekvivalentna debljina "d" lima je dakle:

$$d = \frac{d_p}{m}$$

gdje je  $d_p$  debljina perforiranog lima.

## 2.2 Toplinska vodljivost raznih vrsta drveta i njegovih presjeka

Drvo je po prirodi dobar toplinski izolator. Toplinska vodljivost "λ" ovisi o vrsti drveta, o njegovoj gustoći o vlazi i o smjeru u kome se toplina širi.

Mjerenje toplinske vodljivosti drveta prilično je komplicirano i može se izvesti samo u nekim laboratorijama koji raspolažu odgovarajušom aparaturom. Na slici 6 prikazana je aparatura za mjerenje toplinske vod-

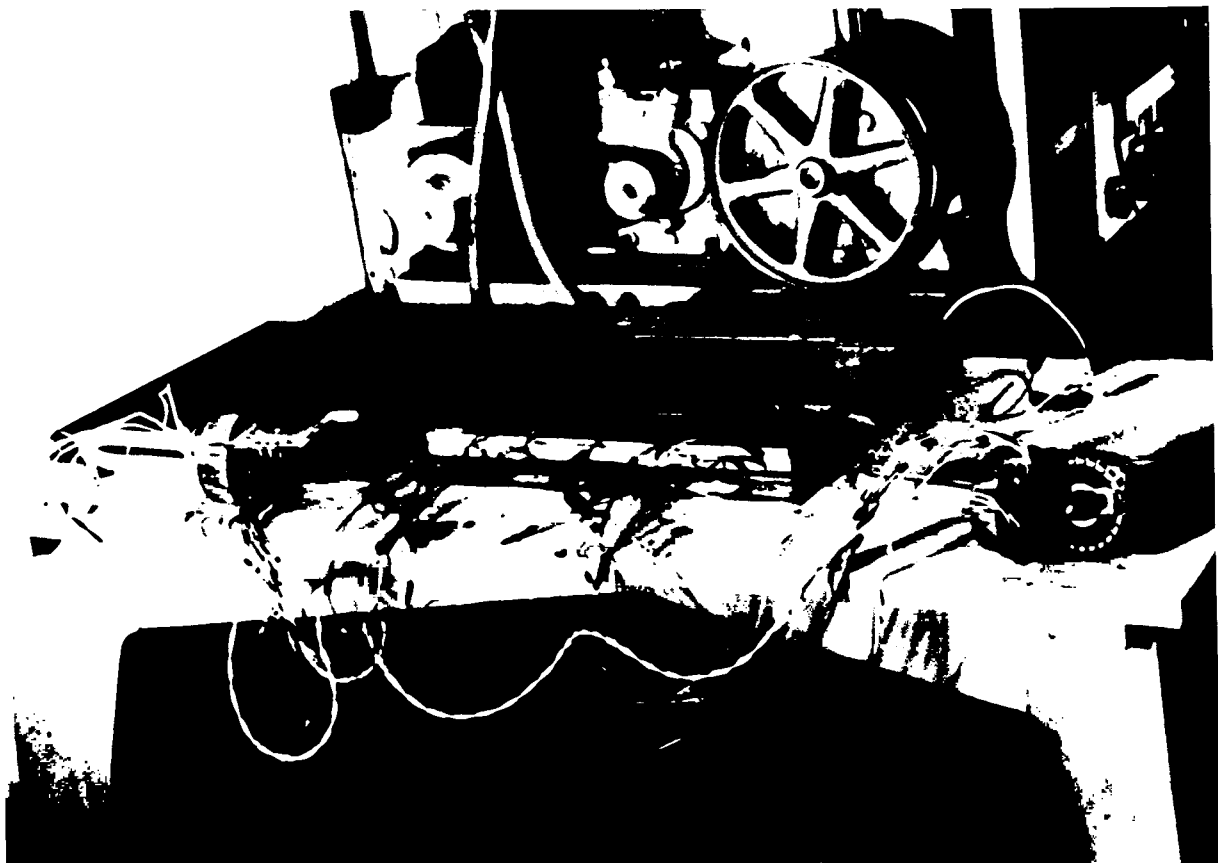
lživosti  $\lambda$  u Laboratoriju za elektrotermiju Univerziteta u Ljubljani. To je jedna od najsavršenijih aparatura. Na slici pak 7 prikazano je ulaganje probe u aparat. Lijepo se vide takodjer elementi s okruglim pločicama koji mjere temperaturu na drvenim površinama i presjecima.



Slika 6. - Uredjaj za mjerenje toplinske vodljivosti drveta i drugih toplinskih izolacija u Laboratoriju za elektrotermiju Univerziteta u Ljubljani. Uredjaj djeluje na principu zaštitnog obruča.

U slijedećoj tabeli navedene su neke vrijednosti za toplinsku vodljivost " $\lambda$ ", specifičnu toplinu " $c$ " i gustoću " $\rho$ " za hrastovinu, borovo drvo i neke materijale koji dolaze u obzir kod konstrukcije i proračuna elektrotopornih uredjaja koji se obradjuju u ovom elaboratu. Napominjemo da

vrijednosti mogu znatno varirati od jednog slučaja do drugog.



Slika 7.- Ulaganje lesomitne probe u aparat za mjerenje toplinske vodljivosti. Na slici se dobro vide mjerno i zaštitno grijalo, te termoelementi za mjerenje temperature.

Vrijednosti u tabeli samo su neke prosječne vrijednosti, no koje dostaju za naše račune. Osim toga, sada važećih mjernih jedinica u tabeli su navedene takodjer vrijednosti za stare jedinice (u zagradi) radi usporedjivanja sa starom literaturom. Tabela nam dobro objašnjava kako dobar je toplinski izolator drvo. U slijedećem poglavlju vidjeti ćemo da i toplinski val putuje kroz drvo vrlo sporo, jer je toplinska vodljivost ( $\alpha = 1/c \cdot \rho$ ) vrlo malena.

| Materijal                 | Topl.vodljivost $\lambda$<br>W/m°C (kcal/hm°C) |        | Spec.toplina "c"<br>kWs/kg°C (kcal/kg°C) |        | Gustoća $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | Toplinska vodljivost "a"<br>m <sup>2</sup> /s<br>(m <sup>2</sup> /h) |                        |
|---------------------------|--|--------|--|--------|-------------------------------------|--|------------------------|
| Hrast                     |  |        |  |        |                                     |  |                        |
| - pravokutno na rasteenje | 0,20   | (0,17) | 2,4                                      | (0,57) | 800                                 | $1,04 \cdot 10^{-7}$   | $(3,74 \cdot 10^{-4})$ |
| - usporedno na rasteenje  | 0,40   | (0,34) |  |        |                                     | $2,68 \cdot 10^{-7}$   | $(7,5 \cdot 10^{-4})$  |
| Bor                       |  |        |  |        |                                     |  |                        |
| - pravokutno na rasteenje | 0,14   | (0,12) |  |        |                                     | $0,94 \cdot 10^{-7}$   | $(3,36 \cdot 10^{-4})$ |
| - usporedno na rasteenje  | 0,29   | (0,25) | 2,7                                      | (0,65) | 550                                 | $1,95 \cdot 10^{-7}$   | $(7,0 \cdot 10^{-4})$  |
| Azbest                    | 0,15   | (0,13) | 0,8                                      | (0,19) | 2 500                               | $0,75 \cdot 10^{-7}$   | $(2,7 \cdot 10^{-4})$  |
| Guma                      | 0,17   | (0,15) | 1,4                                      | (0,34) | 1 000                               | $1,21 \cdot 10^{-7}$   | $(4,37 \cdot 10^{-4})$ |
| Željezo                   | 58   | (50)   | 0,46                                     | (0,11) | 7 800                               | $162 \cdot 10^{-7}$  | $(580 \cdot 10^{-4})$  |
| Aluminiij                 | 204  | (175)  | 0,92                                     | (0,22) | 2 750                               | $806 \cdot 10^{-7}$  | $(2900 \cdot 10^{-4})$ |
| Bakar                     | 396  | (340)  | 0,38                                     | (0,09) | 8 900                               | $1170 \cdot 10^{-7}$   | $(4220 \cdot 10^{-4})$ |



Kod toplinskog obradjivanja drveta (lijepljenje, sušenje, površinsko obradjivanje itd.) ova velika izolacijska sposobnost može stvarati teškoće, no može se i s uspjehom koristiti, ako smo pri izboru načina dovodjenja topline svijesni slijedećih konstatacija:

- (1) Kontaktno dovodjenje topline (elektrootporno zagrijavanje površina, parne prese) je podesno kada se žele zagrijati razmjerno tanki slojevi ispod površine koja se zagrijava kontaktnim dovodjenjem topline. Budući da val topline putuje od zagrijavane površine razmjerno sporo u dubinu, u kratkom vremenu koje je na raspolaganju za operaciju dobro se zagriju jedino najbliži slojevi - to jest tamo gdje nam je toplina zbilja potrebna. Za operaciju se dakle potroši samo jedan mali dio one energije (otprilike oko 20 %) koja bi bila potrebna da se cijela masa zagrije na potrebnu temperaturu. Što su tanji slojevi koje treba zagrijavati to manje energije i vremena je potrebno za operaciju. Zagrijavanje kontaktnim dovodjenjem topline predstavlja idealni i najekonomičniji način zagrijavanja za postupke furniranja i lijepljenja slojeva koji nisu deblji od nekoliko milimetara.

Kao jedan primjer razmotrimo kakva bi bila bilanca energije ako bismo se mjesto za kontaktno dovodjenje topline pri furniranju odlučili za zagrijavanje visokom frekvencijom. Visoka frekvencija zagrije cijelu drvenu masu jednoliko, a nama je toplina potrebna samo lokalno, na površini, najviše nekih 20% debljine. Vidimo da se tu bez potrebe troši nekih 80% topline. Dalje je korisnost visokofrekventnih generatora vrlo slaba. Pretpostavimo li da je  $\eta = 30\%$ , dobivamo da se samo 6 % potrošene električne energije korisno upotrebljava za sam proces. Nasuprot, u slučaju elektrootpornog načina nije ni najmanje teško postići korisnost 80%. I investicioni troškovi su za elektrootporni uređaj neuporedivo manji nego za visokofrekventni uređaj iste snage.

- (2) Dovodjenje topline cijeloj masi ili pak slojevima koji leže dublje

od prilike 8 mm bilo bi s kontaktnim provodjenjem - bilo da se ploče griju električno ili parno - još uvijek jeftinije od visokofrekventnog, jedino što bi bilo vrijeme zagrijavanja veoma dugo. Moramo biti svjesni da je za d v o s t r u k u d e b l j i n u sloja koji treba zagrijati kontaktnim provodjenjem potrebno č e t i r i p u t a više vremena. Zato je tu svakako pogodnija visoka frekvencija. Ako bismo pak htjeli lijepiti i deblje slojeve kontaktnim provodjenjem, savjetujemo da se na neki jeftiniji i jednostavniji način predgriju oba komada, da se potom brzo premažu i stisnu u presi. Tu će zatim grijaća ploha znatno brže dignuti temperaturu do potrebne visine.

Iz svega opisanog jasno slijedi da toplinska vodljivost drveta igra veliku ulogu pa se zato ona pri izboru postupka i pri planiranju ne smije predvidjeti.

- 2.3 U t v r d j i v a n j e v r e m e n a k o j e j e p o t r e b -  
n o z a z a g r i j a v a n j e k o d r a z n i h d e b l j i -  
n a d r v e t a u o v i s n o s t i o s p e c i f i č n o j  
s n a z i i t e m p e r a t u r i g r i j a l a

Vrijeme koje je potrebno za zagrijavanje na raznim presama je različito. Pri tome može biti sastav uzorka isti, a i grijalo može biti za istu specifičnu snagu u  $W/m^2$ . Grijalo koje posjeduje sposobnost da akumulira velike količine topline (veliki toplinski kapacitet) ostaje do slijedeće sarže vruće, dok se grijalo s malim toplinskim kapacitetom brzo ohladi. Jasno je da je vrijeme zagrijavanja, polazeći od jednake specifične snage, u jednom i drugom slučaju različito. Zato moramo svaki slučaj odvojeno obradivati.

- 3.1 Podjela grijala obzirom na toplinski kapacitet.

- 3.1.1 Grijala s velikim toplinskim kapacitetom.

Ova grijala se za vrijeme pauza između dviju sarža vrlo malo ohlade, pa stoga površina uzorka koji se zagrijava dobiva odmah u prvom trenutku na površinu maksimalnu temperaturu.

Ova temperatura se ne snizi ni kasnije zbog velike količine akumulirane

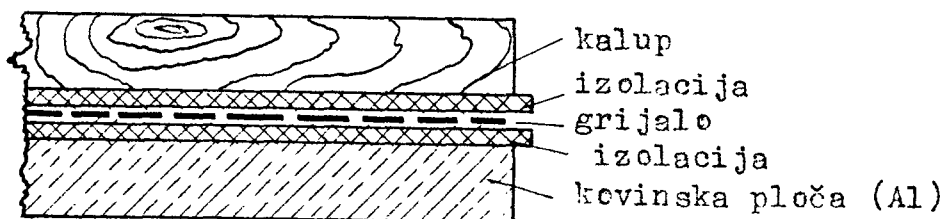
topline i zbog uključenih grijala koja stalno nadoknađuju gubitak topline uslijed odvodjenja u uzorak. U ovu grupu spadaju parna grija-  
la kao i grijala montirana na kalupe koji imaju debele kovinske za-  
štitne ploče. Ako je zaštitna ploča od aluminijske debela preko 4 mm, već  
se može smatrati da grijalo spada u tu grupu (na slici 8 prikazano je  
takvo grijalo).

U istu grupu grijala s velikim toplinskim kapacitetom uvrštavamo tako-  
djer grijala s termostatom. Zbog djelovanja termostata nije prijeko  
potrebno da ta grijala posjeduju vrlo velik toplinski kapacitet, jer  
im termostat uzdržava temperaturu.

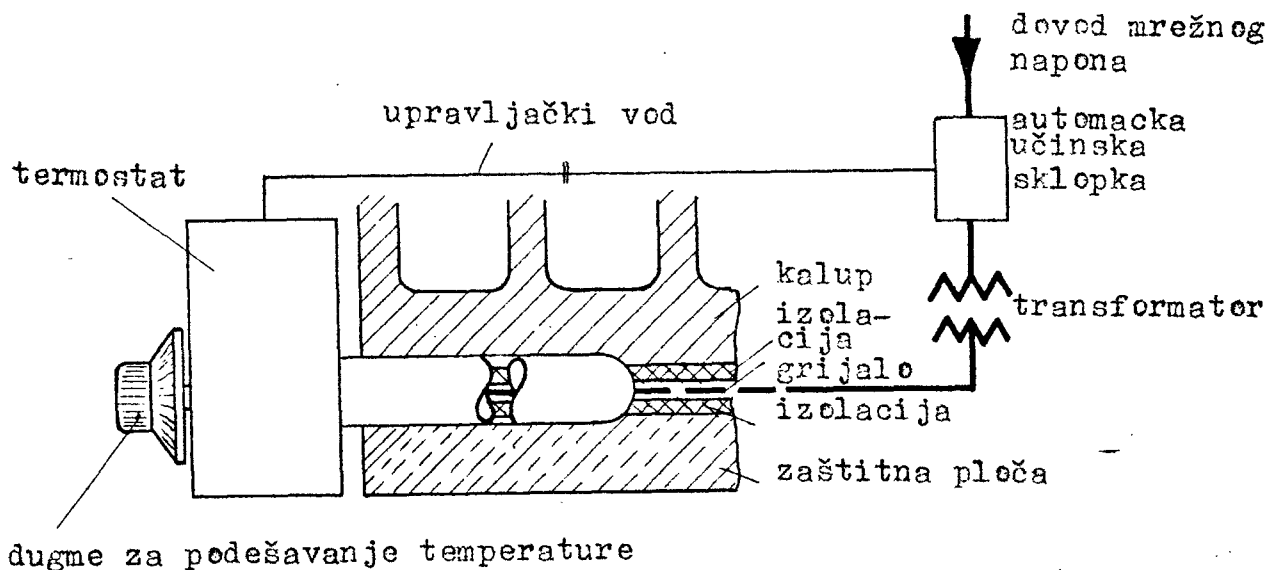
Na slici 9 prikazano je termostatski upravljano grijalo, pričvršćeno  
na kovinski kalup, stisnuto između kovinske ploče i kalupa u raspore-  
d predviđen u tu svrhu. Osjetljivi organ je ovdje dilatacioni termostat  
koji struju direktno niti uklapa niti isklapa, već upravlja automat-  
skom učinskom sklopkom. Ovi termostati ne pokazuju temperaturu nego su  
opremljeni dugmetom kojim se namješta željena temperatura. Ova tempera-  
tura se uzdržava uklapanjem i isklapanjem grijaće struje. Razlika iz-  
među temperature uklapanja i isklapanja iznosi otprilike 5 do 10°C.  
Termostate ove vrste izrađuje veći broj domaćih tvornica, a njihova  
cijena iznosi samo nekoliko tisuća dinara.

Na slici 10 prikazan je presjek termostatski regulirane grijaće plohe  
drvenog kalupa. Kao mjerni organ upotrebljava se tu termoelemenat. Ovaj  
mora biti umetnut izolirano. Najbolje je da se ulijepi između dva koma-  
da prešpana. Ljepilo podesno u tu svrhu je "Sraldit", no i bakelitni  
lak se je pokazao kao dobar.

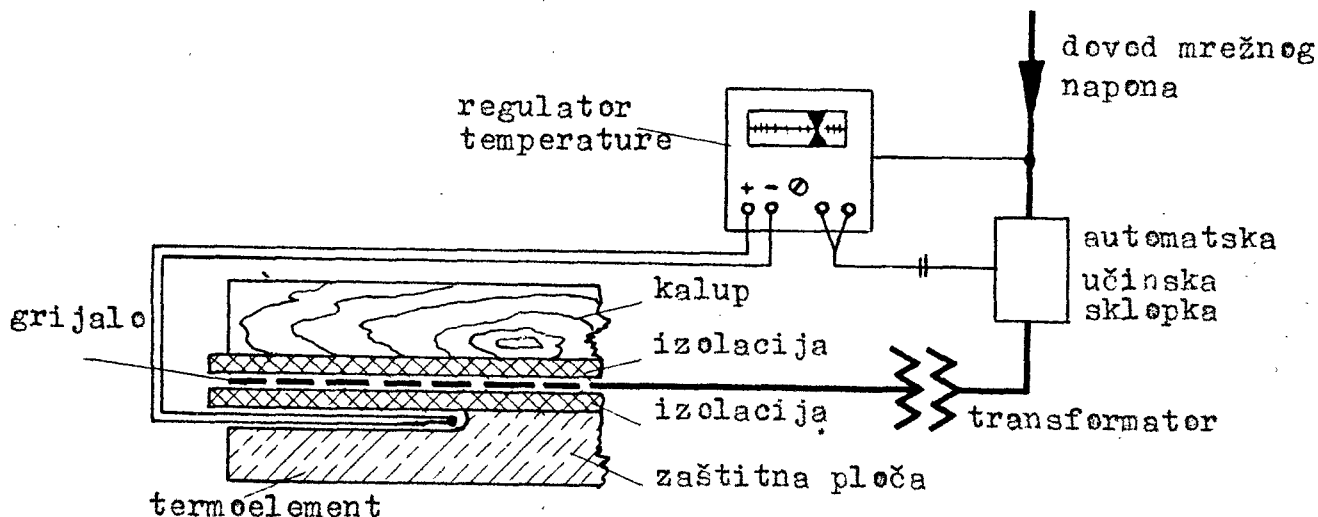
Temperaturni regulator upravlja automatskom učinskom sklopkom i time  
uzdržava temperaturu zaštitne ploče na namještenoj visini. Temperaturne  
regulatore izrađuje u nas tvornica "Iskra". Može se upotrebljavati i  
bilo koji drugi temperaturni regulator, pod uvjetom da je priredjen za  
priključak na termoelemenat. Termoregulator također pokazuje zbiljsko  
stanje temperature (crna kazaljka, dok se željena temperatura podešava  
crvenom kazaljkom). Kada crna kazaljka stigne do crvene, temperatura je



Slika 8. Grijalo s velikim toplinskim kapacitetem



Slika 9. Postavljanje dilatacionog termostata u raspor između kalupa i zaštitne ploče i električni spoj za napajanje grijala



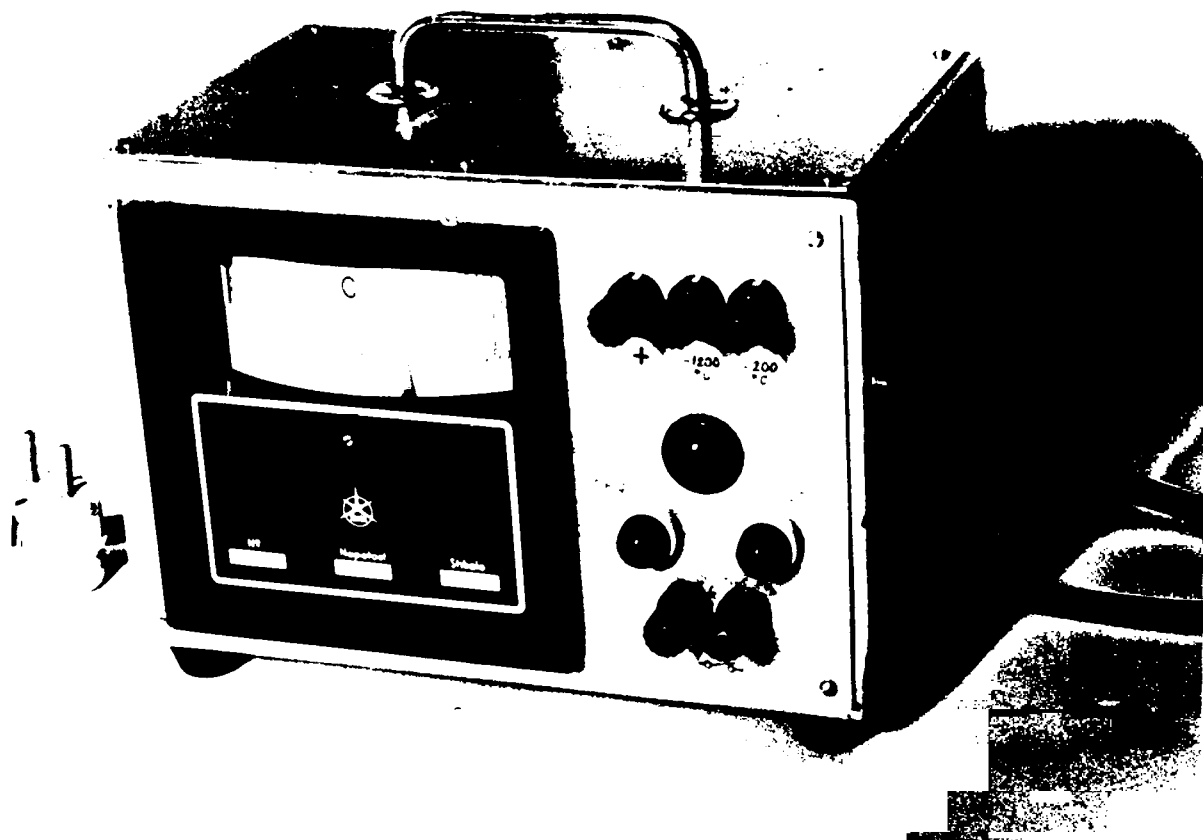
Slika 10. Postavljanje termostata u samu zaštitnu ploču te shema električnog spoja za regulaciju i napajanje grijala

postigla namještenu vrijednost te regulator prouzrokuje isklapanje automatske sklopke koja prekine dotok energije grijalu. Ovi regulatori su znatno precizniji od dilatacionih, no i njihova cijena je viša te iznosi oko 80 000 dinara, što se za važnije i veće preše još uvijek isplati, a uz to se oni mogu upotrebljavati i kao mjerni instrumenti za mjerenje temperature ljepljiva u samom rasporu. Ti podaci su potrebni radi utvrđivanja optimalnog režima pogona, kao što ćemo poslije vidjeti. Na slici 11 prikazan je regulacioni ormar izradjen u Laboratoriju za elektrotermiju u Ljubljani, u koji je ugradjen upravo spomenuti regulator tvornice "Iskra". Prilikom naručivanja regulatora treba tražiti opseg  $150^{\circ}\text{C}$  za termoelemenat željezo-konstantan s otporom mjernog strujog kruga 20 oma.

Grijaća površina velikog toplinskog kapaciteta ili s termostatskom regulacijom odlikuju se time, da se za njih mnogo lakše mogu odrediti optimalni radni uvjeti (najkraće vrijeme u kome se ljepljivo stopototno stvrdne) kako ne bi nastala nikakva šteta te se ne bi strahovalo, da će material se zbog previsoke temperature pokvariti, ako se prekorači vrijeme zagrijavanja, a proces bi što je moguće završio jer se je zagrijavanje počelo maksimalnom temperaturom.

Loša strana grijala s velikim toplinskim kapacitetom sastoji se u tome, da su ta grijala teža i skuplja pa stoga gube prvu prednost ispred onih na paru. Grijala koja se reguliraju termostatski prednjače ispred svih drugih, no mogu se upotrebljavati jedino tamo gdje je grijalo montirano u kalup.

Termostatska grijala kao i grijala s velikim toplinskim kapacitetom preporučujemo za velike preše i preše koje postavljaju velike zahtjeve, gdje se traži maksimalna korisnost te prvorazredna i uvijek jednaka kakvoća proizvoda.



Sl. 11. - Regulacioni ormarić. Pokazni instrumenat je ujedno i regulator temperature. Djeluje na principu fotootpornika.

Termostatska grijala kao i grijala s velikim toplinskim kapacitetom preporučujemo za velike preše i preše koje postavljaju velike zahtjeve, gdje se traži maksimalna korisnost te prvorazredna i uvijek jednaka kakvoća proizvoda.

3.1.2 Grijala s malim toplinskim kapacitetom. - To su obično neizolirane grijaće trake i grijala s vrlo tankom zaštitnom prevlekom. Takva grijala se u pauzi između jedne i druge periode zagrijavanja ohlade skoro na temperaturu okoline, pa stoga svakog ciklusa grijalo i material počinju kod iste temperature. Razumije se da za vrijeme zagrijavanja grijalo ima uvijek nešto višu temperaturu.

Karakteristično je za grijala s malim toplinskim kapacitetom da se im temperatura mijenja skoro tokom cijele periode zagrijavanja. Račun optimalnog vremena zagrijavanja prilično je težak, a vrijeme zagrijavanja nešto je duže. Vrijeme zagrijavanja treba tačno utvrditi i ne smije se prekoračiti. Temperatura grijala stalno raste, naročito ako se ona velike specifične snage, ta bi se proizvod mogao pokvariti. Ako posjedujemo grijalo male specifične snage, temperatura se katkada stabilizira dovoljno nisko i ta opasnost ne postoji. U tom slučaju je vrijeme koje je potrebno za stvrdnjavanje ljepila znatno duže. Treba se svjesno odlučiti za jedno ili drugo.

Prednost je grijala s malim toplinskom kapacitetom da su jednostavna i da troše malo energije, jer u pauzama nisu uključena. Ova grijala su naročito podesna ako su pauze duge.

2.3.1.3. Grijala srednjeg toplinskog kapaciteta.- Kapacitet ovih grijala negdje je u sredini između obaju opisanih karakterističnih tipova. Račun optimalnog vremena za stvrdnjavanje ljepila težak je ili se pak uopće ne može izvesti. Jedini izlaz je direktno mjerenje variranja temperature. Na osnovu tog mjerenja izradi se pogonski program, kojega se treba tačno pridržavati, jer inače dolazi do velikih nejednolikosti i krivljenja proizvoda.

Da bi se izbjeglo donekle zamršeno utvrđivanje optimalnog vremena zagrijavanja koje je potrebno za 100%-no stvrdnjavanje ljepila, material se ostavi nešto duže u preši, kako bi se ljepilo sugurno potpuno stvrdnulo. Ovaj način mogao bi se preporučiti obrtnim radionicama ili pak za pojedine proizvode, a moderno uređenoj tvornici sa serijskom proizvodnjom ne bi bilo ni u korist ni na čast. Budući da su preše u tvornici obično usko grlo, preciznim pogonskim planom koji se razradi pomoću računa ili mjerenja može se uvelike ubrzati i poboljšati proizvodnja.

3.2 Utvrđivanje vremena koje je potrebno za stvrdnjavanje ljepila.

3.2.1 Utvrđivanje vremena stvrdnjavanja ljepila kod stalne temperature. -

Kod stalne temperature ljepilo se stvrdnjava u prešama s termostatski

upravljanim grijalima ili pak s grijalima velikog toplinskog kapaciteta pod uvjetom da je pri početku rada preša već vruća. Drugi je pak uvjet da sloj ljepila koje se zagrijava i lijepi leži vrlo plitko ispod površine (dijelovi milimetra, samo tanak furnir), kako bi se moglo smatrati da je tu temperatura svoju konačnu vrijednost dostigla već poslije nekoliko sekunda.

U jednostavnijim slučajevima rezultat se dobiva iz diagrama (slika 12) koji obično kupac dobije u tvornici, proizvođača ljepila. Dijagram možemo izraditi i sami, jedino od tvornice moramo dobiti podatke za nekoliko tačaka krivulje. Ostalo interpoliramo, tj. krivulju izvučeno kroz zadane tačke.

Dijagram na slici 12 prikazuje odnos između temperature ljepila i vremena koje je potrebno da ljepilo stopostotno stvrdne. Skala za vrijeme je logaritamska.

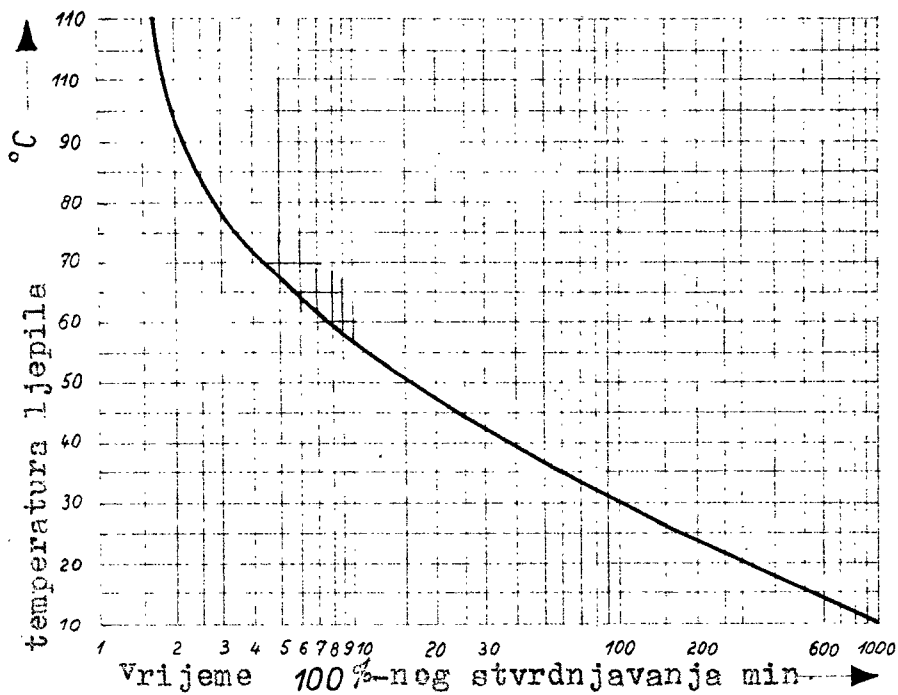
Da bi se utvrdilo vrijeme koje je potrebno za stopostotno stvrdnjavanje, treba poznavati jedino temperaturu ljepila u rasporu, koja se, naravno, izmjeri. Mjerenje se izvede ugrađenim termoelementom, koji se potom, kada se ljepilo stvrdne, jednostavno odreže i ostavi u preizvodu. Više o tim mjerenjima u odsjeku 2.3.4.

Za sasvim plitke slojeve dostaje mjerenje temperature grijaće ploče, koja se može izmjeriti također običnim tekućinskim termometrom. Ovo se mjerenje more izvesti tek pošto se je temperatura svojski stacionirala.

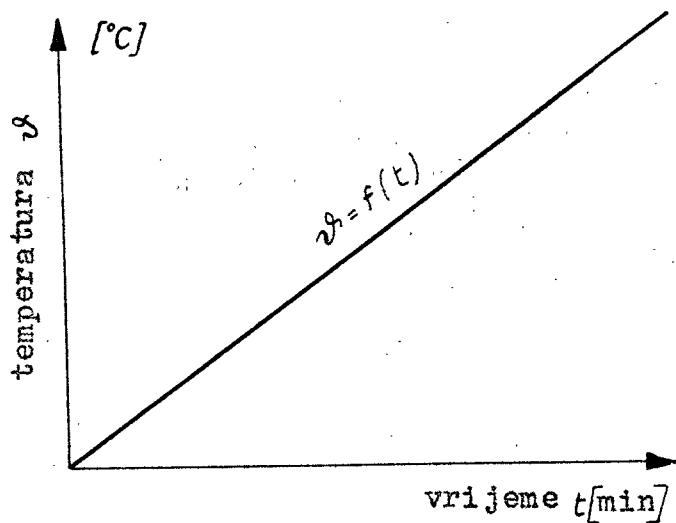
P r i m j e r . U preši koja ima termostatski regulirane grijaće plohe želimo furnir lijepiti na podlogu. Upotrijebit ćemo urea-formaldehidno ljepilo svojstava prema dijagramu 12. Temperatura grijaćih ploha regulirana je na  $80^{\circ}\text{C}$ . Iz dijagrama se dobije odgovarajuće vrijeme 2,8 minuta, što zaokružimo nagore.

3.2.2 Utvrdjivanje vremena stvrdnjavanja ljepila kod temperature koja jednoliko raste. - U ljepilu temperatura raste praktično jednoliko kod grijača s vrlo malim toplinskim kapacitetom, ako sloj ljepila leži vrlo





Slika 12. Odnos izmedju temperature i vremena 100%-nog stvrdnjavanja za obično urea- i formaldehidno ljepilo



Slika 13. Idealizirani tok krivulje zagrijavanja

plitko (dijelovi milimetra, tanak furnir) te je uz to specifična snaga grijala u normalnim granicama tako da grijala zbog previsoke specifične snage ne postizavaju previsoku temperaturu da bi se morala još prije završetka stvrdnjavanja isklopiti, ili pak da nemaju premalenu specifičnu snagu te bi se temperatura stacionirala prije nego što se ljepilo stvrdne. Međutim, usprkos prividno zamršenim prilikama, u praksi je dosta slučajeva da se vrijeme stvrdnjavanja utvrđuje baš na taj način.

Da bi se moglo utvrditi ispravno vrijeme stvrdnjavanja ljepila kod temperature koja jednoliko raste, treba prije mjerenjem utvrditi brzinu porasta temperature u ljepilu (v.odsjek 2.3.4!).

Princip proračuna sastoji se u tome da se vrijeme stvrdnjavanja podijeli na jednake vremenske intervale (na primjer pola minute) te se uzme da je u pojedinim vremenskim intervalima temperatura konstantna. Potom se za svaki takav interval odredi pomoću dijagrama (slika 12) za koliko se je postotaka u tome intervalu ljepilo stvrdnulo. Račun se nastavlja sve dok se ne dodje do 100 postotaka.

Na slici 14 se vidi kako se idealizirana krivulja zagrijavanja (pravac, slika 13) zamijeni stepeničastom krivuljom time da se vrijeme zagrijavanja podijeli na kratke intervale ( $\Delta t$ ). Srednja vrijednost temperature  $T_{sr}$  u pojedinom intervalu uzme se u obzir pri računu djelomičnog stvrdnjavanja. Što su kraći intervali to manje pogreške nastaju.

P r i m j e r . Mjerenjem smo utvrdili da je temperatura u sloju ljepila od početnih  $20^{\circ}\text{C}$  porasla na  $92^{\circ}\text{C}$  u 6 minuta. Razlika je dakle  $72^{\circ}\text{C}$ . Brzina porasta temperature iznosi

$$72 : 6 = 12^{\circ}\text{C}/\text{min}.$$

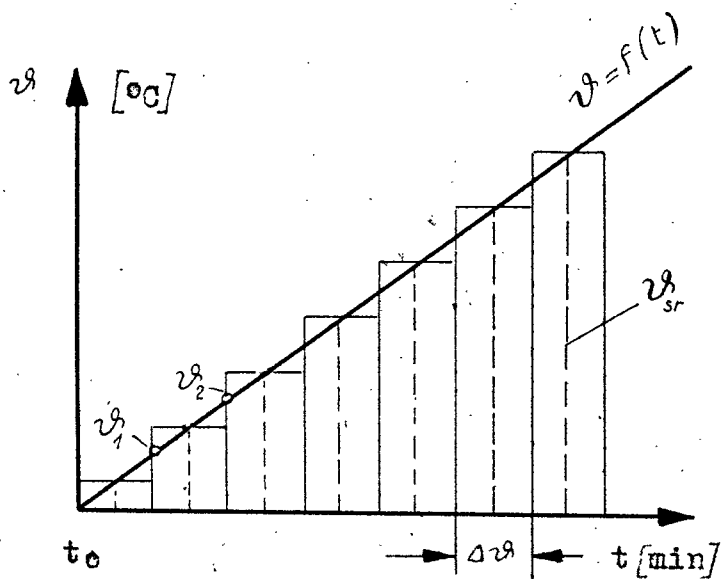
Za ovu brzinu porasta temperature izračunat ćemo sad, vrijeme stvrdnjavanja. Uzet ćemo intervale po pola minute. Početna temperatura obično je sobna temperatura  $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ . Poslije pola minute, tj. na kraju prve "stepenice" (intervala) temperatura u sloju ljepila iznosi već  $26^{\circ}\text{C}$ , a u sredini intervala  $23^{\circ}\text{C}$ . Iz dijagrama na slici 12 dobije se da za  $23^{\circ}\text{C}$  iznosi vrijeme stvrdnjavanja 200 minuta (u 200 minuta ljepilo bi se stvrdnulo, ako bi temperatura cijelo vrijeme iznosila  $23^{\circ}\text{C}$ ). Pola minute predstavlja dakle

$$\frac{0,5}{200} \cdot 100 = 0,25 \% \text{ stvrdnuća}$$

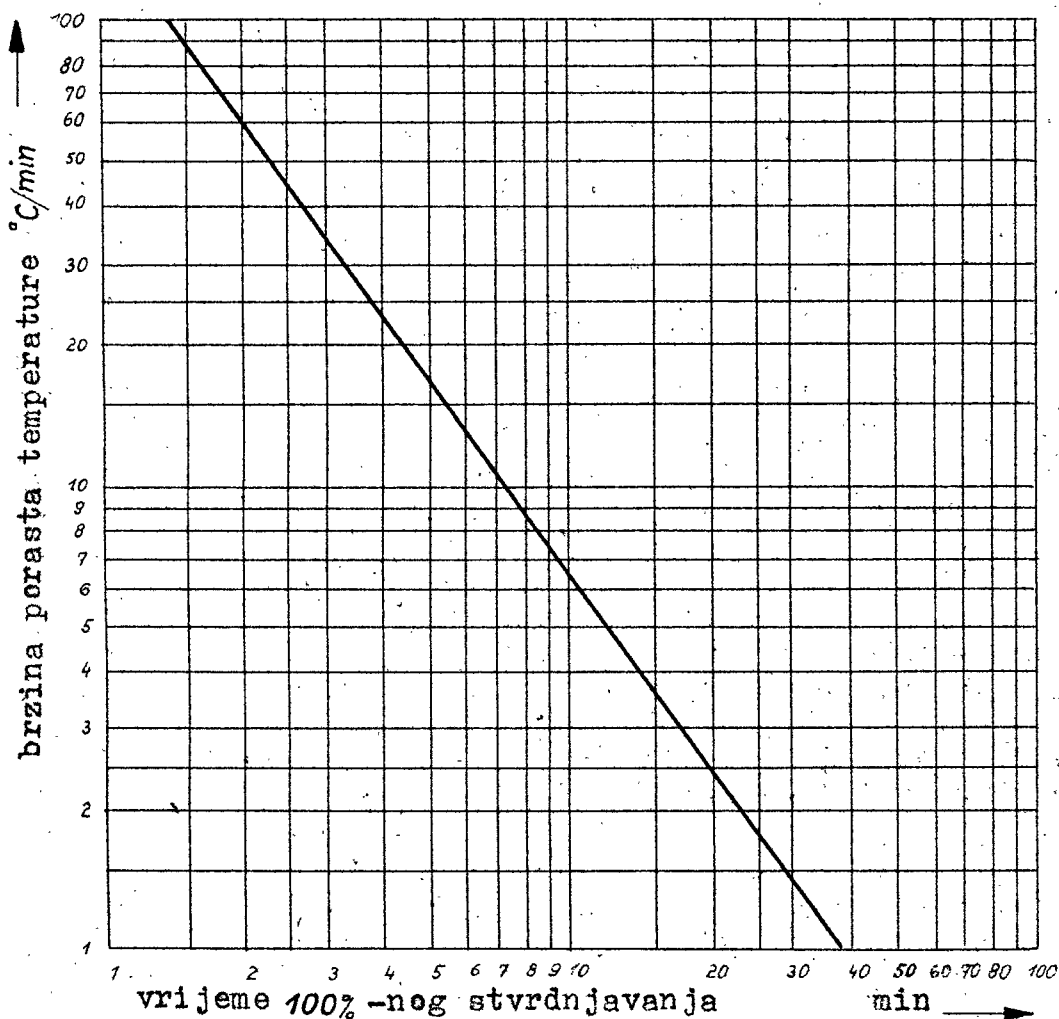
Slijedeći interval proteže se od pola do jedne minute. Temperatura poraste od 26 na 32°C. <sup>1</sup>/<sub>5</sub> ovog intervala iznosi 29°C, a vrijeme stvrdnjavanja za tu temperaturu 104 minute, postotak stvrdnjavanja u drugom intervalu iznosi 0,48 %, te se je na kraju drugog intervala ljepilo stvrdnulo za 0,25 + 0,48 = 0,73 %. Sada prelazimo na treći interval i tako dalje, kao što je prikazano u donjoj tabeli.

| Vrijeme<br>min. | Temper.<br>°C | Srednja<br>temper.<br>intervala | Vrijeme stvrdnjavanja<br>kod temperature | %<br>stvrdnuća | Ljepilo<br>već stvrdnuto do % |
|-----------------|---------------|---------------------------------|--|----------------|-------------------------------|
| 0               | 20            |                                 |  | 0              | 0                             |
| 0,5             | 26            | 23                              | 200                                      | 0,25           | 0,25                          |
| 1,0             | 32            | 29                              | 104                                      | 0,48           | 0,73                          |
| 1,5             | 38            | 35                              | 60                                       | 0,84           | 1,57                          |
| 2,0             | 44            | 41                              | 35                                       | 1,43           | 3,00                          |
| 2,5             | 50            | 47                              | 20                                       | 2,50           | 5,50                          |
| 3,0             | 56            | 53                              | 13                                       | 3,84           | 9,34                          |
| 3,5             | 62            | 59                              | 8  | 6,25           | 15,59                         |
| 4,0             | 68            | 65                              | 5,8                                      | 8,62           | 24,21                         |
| 4,5             | 74            | 71                              | 4,2                                      | 11,89          | 36,10                         |
| 5,0             | 80            | 77                              | 3,4                                      | 14,70          | 50,00                         |
| 5,5             | 86            | 83                              | 2,6                                      | 19,20          | 70,00                         |
| 6,0             | 92            | 89                              | 2,2                                      | 22,70          | 92,70                         |
| 6,5             | 98            | 95                              | 2,0                                      | 25,00          | 117,70                        |

Vidimo da se ljepilo stvrdne negdje u vremenu između 6 i 6,5 minute. Ako ovaj račun opetujemo za nekoliko drugih brzina porasta temperature, na primjer 2,5 ; 20 ; 50°C minč, dobit ćemo nova vremena stvrdnjavanja. Iz tih rezultata može se sastaviti novi dijagram, koji je prikazan na slici 15 i koji je karakterističan za dotično ljepilo. Na dijagramu je prikazan odnos između vremena koje je potrebno za stopostotno stvrdnjavanje običnog urea-formaldehidnog ljepila i brzine porasta temperature u sloju ljepila. Dijagram je univerzalan te se može upotrebljavati za rad na raznim prešama i materijalima, ako je prije na bilo koji način utvrđena (računski ili mjerenjem) brzina porasta



Slika 14. Podjela vremena zagrijavanja na intervale



Slika 15. Odnos izmedju brzine porasta temperature u sloju obicnog urea-formaldehidnog ljepila i vremena koje je potrebno za 100%-no stvrdnjavanje

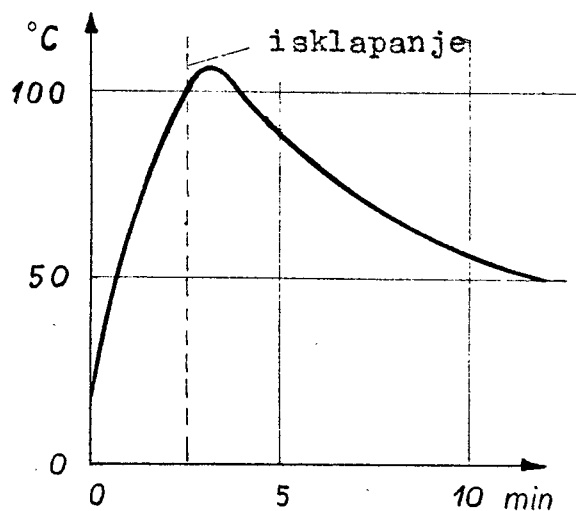
temperature.

Komad koji se lijepi često se može izvaditi iz preše prije isteka izračunanog vremena, jer se zbog akumulirane topline u samom materijalu proces odvija dalje i poslije nego što je prekinut dotok energije izvana. Za taj korak, međutim, treba se odlučiti poslije trijeznog razmišljanja, jer se zbog unutrašnjih naprezanja materijal može pokvariti. To vrijedi naročito za krive plohe. I pritisak pare koja se je razvila u drvetu ima katkada toliku snagu, da raznese sastav ako se ljepilo nije stvrdnulo.

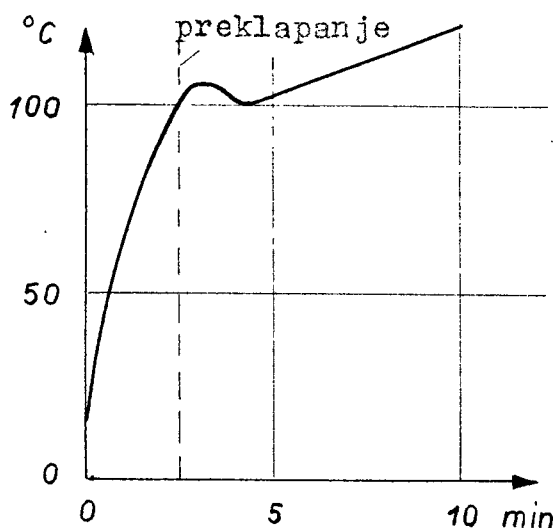
Ako se lijepi istovremeno više slojeva ne smije se zaboraviti da vrijeme stvrdnjavanja treba računati za sloj koji leži najdublje i koji se zato najkasnije zagrije.

2.3.2.3 Utvrđjivanje vremena za stvrdnjavanje ljepila kod temperature koja se mijenja. - Tačno uzeto, temperatura ne može ni trenutno porasti na maksimalnu vrijednost i ostati na istoj visini za čitavo vrijeme stvrdnjavanja, kao što je pretpostavljeno u odsjeku 2.3.2.1, niti ona može sasvim jednoliko rasti, kao što se računa u odsjeku 2.3.2.2. Za tamo navedene slučajeve idealizacije su dozvoljene i pojednostavljaju račun. Za sve pak ostale slučajeve, naročito za grijala sa srednjim toplinskim kapacitetom kao i za grijala svih vrsta (nizak, srednji i visok toplinski kapacitet) ako sloj ljepila leži dublje od 1 mm ispod površine, krivulja zagrijavanja biti će svakako pravac. Razmotrimo nekoliko takvih krivulja! Na slikama 16 i 17 prikazane su krivulje zagrijavanja za tačke koje se nalaze otprilike 1,5 mm ispod površine zagrijavanja. Grijalo ima znatnu specifičnu snagu te ga treba poslije kratkog vremena isklopiti, ili preklopiti, kako ne bi postiglo previsoku temperaturu. Na slici pak 18 prikazana je krivulja zagrijavanja u slučaju da je specifična snaga niska i promatrana tačka (sloj koji se lijepi) duboko ispod površine zagrijavanja.

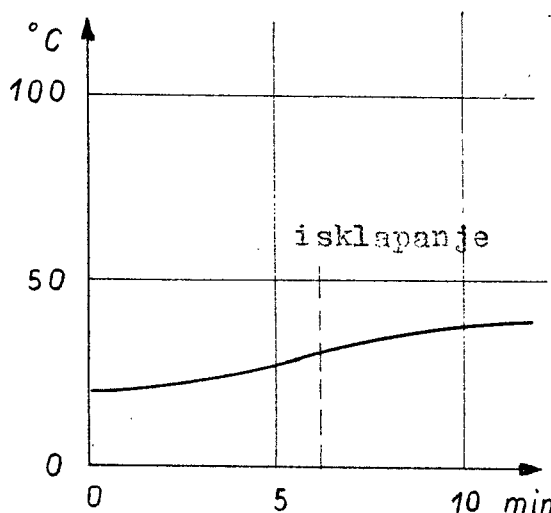
U svim slučajevima kada se temperatura mijenja po nekoj krivulji treba vrijeme koje je potrebno za stvrdnjavanje ljepila izračunati po metodi



Slika 16. Jedan primjer krivulje zagrijavanja za tačku 1,5mm ispod površine. Grijalo je isključeno poslije 2,5 min. Specifična snaga ca  $7000 \text{ W/m}^2$



Slika 17. Jedan primjer krivulje zagrijavanja za tačku 1,5 mm ispod površine. Specifična snaga ca  $7000 \text{ W/m}^2$   
Grijalo, mjesto da bi se potpuno isključilo, preklopi se poslije 2,5 min na polovinu napona



Slika 18. Jedan primjer krivulje zagrijavanja za tačku 1,5 mm ispod površine. Specifična snaga grijala iznosi  $1600 \text{ W/m}^2$

koja je već opisana u odsjeku 2.3.2.2 time, da se vrijeme zagrijavanja podijeli na male intervale. Srednju temperaturu ( $\bar{T}_{gr}$ ) treba odrediti za svaki interval posebno (očitati) iz krivulje zagrijavanja.

Za svaki interval (npr. pola minute) odredi se po dijagramu na slici 12 stepen (%) stvrdnuća ljepila. Ovi se rezultati unose u tabelu, i kada se postigne 100%, već je određeno vrijeme koje je potrebno za stvrdnjavanje ljepila. Ovdje nećemo ponavljati primjer, jer je on identičan s onim iz odsjeka 2.3.2.2, jedino treba sada  $\bar{T}_{gr}$  očitati iz krivulje zagrijavanja a ne računati kao u slučaju kada je krivulja zagrijavanja pravac.

### 3.3 Račun prostiranja topline kroz presjek drveta

Da bi se moglo odrediti vrijeme koje je potrebno da se ljepilo stvrdne (v. prijašnji odsjek!), treba znati kako se mijenja temperatura u promatranom presjeku drveta. Nas zanima u prvom redu vremenska promjena temperature u sloju ljepila, ukratko, poznavati moramo krivulju zagrijavanja za promatrano mjesto. Ljepilo se obično stvrdne prije nego što se završi prijelazna pojava porasta temperature.

U svakom slučaju može se mjerenjem vrlo tačno utvrditi krivulja zagrijavanja (v.odsjek 2.3.4), no u jednostavnim slučajevima ona se brže izračuna pomoću već priredjenih dijagrama i tabela.

#### 3.3.1 Račun prostiranja topline kroz presjek drveta kod termostatski upravljanih grijala i grijala s velikim toplinskim kapacitetom.- Stvarnom stanju uvelike ćemo se približiti ako pretpostavimo da je drvo jednostrano i beskonačno prošireno tijelo temperature $T_p$ i da se nanj pritiskne grijalo konstantne temperature $T_g$ . Ovo grijalo se termostatski regulira i posjeduje velik toplinski kapacitet (za račun pretpostavljamo $c \rightarrow \infty$ ) tako da se mu temperatura ne smanji ako ga pritismo na drvenu površinu.

Na slici 19 prikazana je raspodjela temperature po presjeku drveta u vremenu  $t_1$  i  $t$ . Čim se na grijaću površinu ( $x = 0$ ) pritiskne grijalo, na njoj se pojavi temperatura grijala  $T_g$ . Toplina se potom širi u dubinu (u

smjeru većeg  $x$ ). Prvobitna temperatura cijelog presjeka drveta, prije nego što smo na njegovu površinu pritisknuli grijalo, iznosila je  $\Delta T_p$ . Krivulje  $t_1$  i  $t$  predstavljaju mjesnu raspodjelu temperature po presjeku drveta u vremenu  $t_1$  poslije početka prijelazne pojave i u vremenu  $t$  (nešto kasnije). Oznaka znači temperaturu u dubini  $x$  ispod površine u vremenu  $t$  od početka zagrijavanja. A nju baš tražimo.

Matematsko izvodjenje ovog računa ide preko rješavanja diferencijalnih jednačbi i više transformacija te ga ovdje nećemo navoditi. Za praktični proračun dostaje da se navede rezultat:

$$t = \frac{x^2}{a} \cdot \text{Funkc.} \left( \frac{\Delta T_t}{\Delta T_p} \right)$$

Oznake znače:

$t$  - vrijeme u sekundama,

$x$  - udaljenost u m,

$a$  - toplinska vodljivost  $\text{m}^2/\text{s}$ , ( $a = \frac{1}{2.9}$ )

$\Delta T_p$  - prvobitna razlika temperature obaju tijela  $^{\circ}\text{C}$  (prije nego što smo ih stisnuli zajedno), v. sliku 19!

$\Delta T_t$  - razlika temperature obaju tijela u udaljenosti  $x$  od dodirne plohe poslije vremena  $t$  poslije vremena  $t$  iza kako smo ih stisnuli.

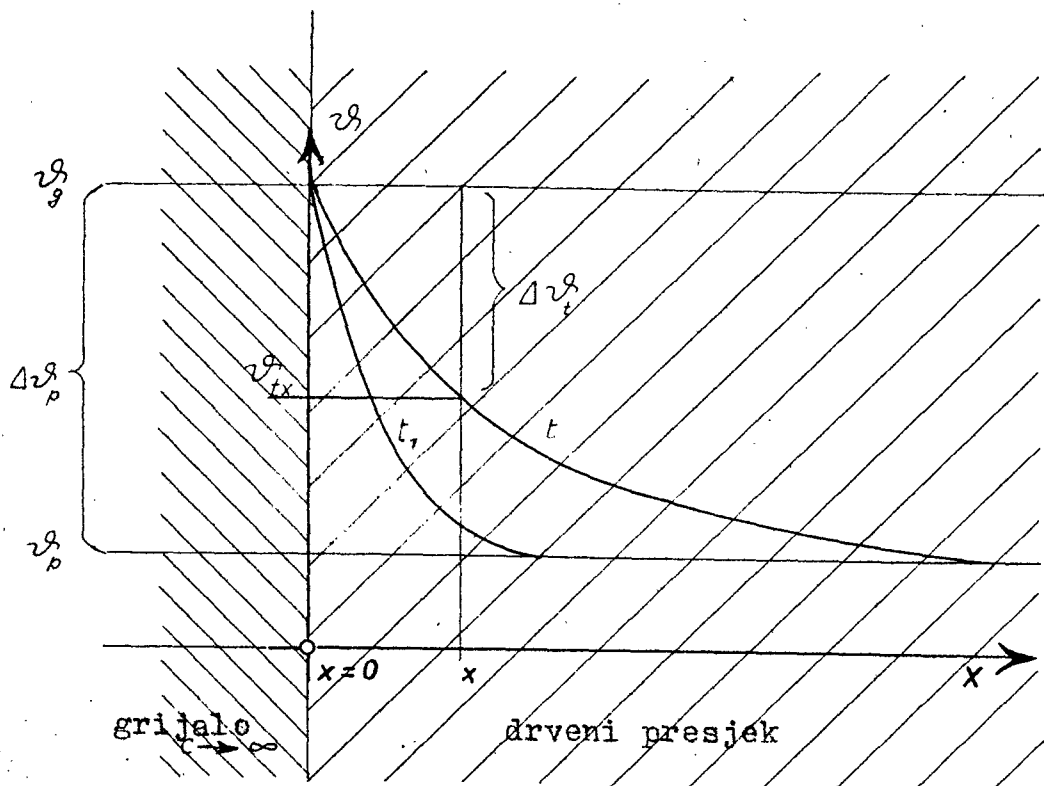
Vrijednost za Funk.  $\left( \frac{\Delta T_t}{\Delta T_p} \right)$  dobije se na slici 20. Neke su vrijednosti navedene takodjer u slijedećoj tabeli.

Da bismo doznali kojom se brziom prostire toplinski val u raznim materijalima, navodimo slijedeći primjer (za  $a$  smo uzeli srednje vrijednosti).

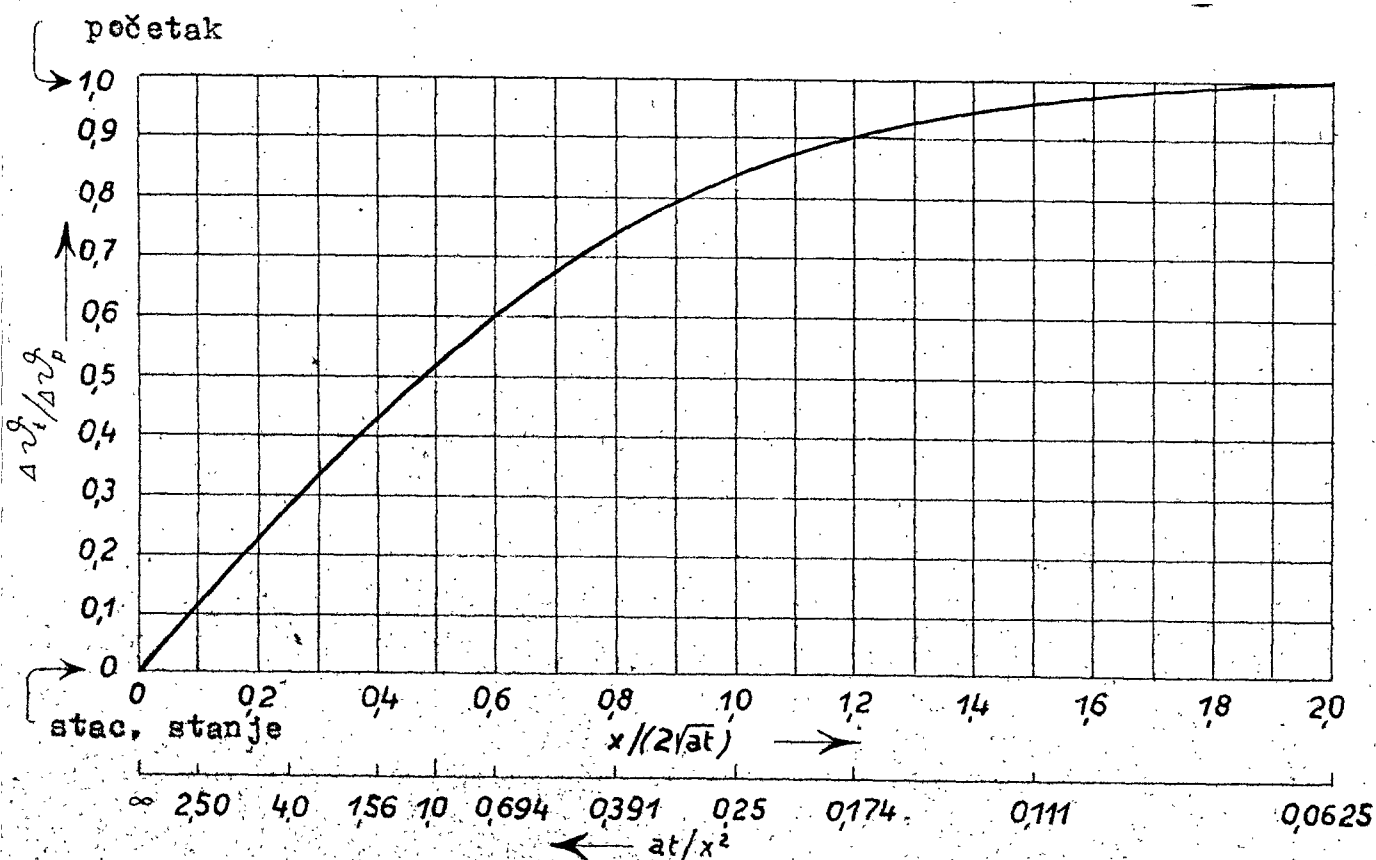
**P r i m j e r .** Poslije koliko vremena prodre polovica temperaturne razlike ( $\Delta T_t / \Delta T_p = 0,5$ ) sa površine do dubine 1 mm, 1 cm, 1 dm, 1 m, ako je jednostrano beskonačno prošireno tijelo od bakra, željeza, stakla ili drveta ?

Za  $\Delta T_t / \Delta T_p = 0,5$  dobije se iz tabele na slijedećoj strani da je:





Slika 19. Raspodjela temperatura na jednu stranu beskonačno proširenog drvenog presjeka poslije vremena  $t_1$  i  $t$



Slika 20. Raspodjela temperatura u beskonačno debelom drvenom zidu. Oznake vidjeti u tekstu!

$$\frac{at}{x^2} = 1,099 = \text{Funkc.} \left( \frac{\Delta T_t}{\Delta T_0} \right)$$

$$t = \frac{x^2}{a} \cdot 1,099$$

| $\frac{at}{x^2}$ | $\frac{x}{a}$ | $x$   | Primjedba          |
|------------------|---------------|-------|--------------------|
| 1,000            | 0             | 0     | stacionarno stanje |
| 0,999            | 0,0278        | 3,0   |                    |
| 0,999            | 0,0400        | 2,5   |                    |
| 0,995            | 0,0625        | 2,0   |                    |
| 0,966            | 0,111         | 1,5   |                    |
| 0,910            | 0,174         | 1,2   |                    |
| 0,842            | 0,250         | 1,0   |                    |
| 0,820            | 0,277         | 0,95  |                    |
| 0,797            | 0,309         | 0,90  |                    |
| 0,771            | 0,333         | 0,85  |                    |
| 0,742            | 0,391         | 0,80  |                    |
| 0,711            | 0,444         | 0,75  |                    |
| 0,678            | 0,510         | 0,70  |                    |
| 0,642            | 0,592         | 0,65  |                    |
| 0,604            | 0,694         | 0,60  |                    |
| 0,563            | 0,826         | 0,55  |                    |
| 0,521            | 1,000         | 0,50  |                    |
| 0,500            | 1,099         | 0,477 |                    |
| 0,475            | 1,23          | 0,45  |                    |
| 0,428            | 1,56          | 0,40  |                    |
| 0,379            | 2,04          | 0,35  |                    |
| 0,329            | 2,70          | 0,30  |                    |
| 0,276            | 4,00          | 0,25  |                    |
| 0,223            | 6,25          | 0,20  |                    |
| 0,168            | 11,10         | 0,15  |                    |
| 0,112            | 25,00         | 0,10  |                    |
| 0,0564           | 100           | 0,05  |                    |
| 0,0226           | 625           | 0,02  |                    |
| 0,0113           | 2500          | 0,01  |                    |
| 0,0000           | 00            | 0,00  | začetak            |

Posljednja jednadžba je veoma poučna. Ona nam kaže da vrijeme koje je potrebno da opći val prodre do neke dubine ovisi o kvadratu dubine, tj.: ako je sloj do koga toplinski val mora doprijeti 2 puta deblji potrebno je 4 puta više vremena, ili, ako je sloj mjesto 1 mm debeo 10 cm, toplinskom

valu potrebno je 100 puta više vremena da dopre do njega.

Odatle se dobro vidi da je elektrootporno zagrijavanje naročito podeseo za lijepljenje pločica slojeva. Rješenje primjera sadržano je u donjoj tabeli:

Vrijeme koje je potrebno da jedna polovica temperaturne razlike dopre do slijedeće dubine:

| Materijal                | Bakar                | Željezo             | Staklo             | Drvo                |
|--------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| $a \text{ m}^2/\text{s}$ | $1030 \cdot 10^{-7}$ | $161 \cdot 10^{-7}$ | $62 \cdot 10^{-7}$ | $1,4 \cdot 10^{-7}$ |
| $x = 1 \text{ mm}$       | 0,0106 sek           | 0,0677 sek          | 1,78 sek           | 7,92 sek            |
| $x = 1 \text{ cm}$       | 1,06 sek             | 6,77 sek            | 2,97 min           | 13,2 min            |
| $x = 1 \text{ dm}$       | 1,78 min             | 11,3 min            | 4,95 h             | 22,0 h              |
| $x = 1 \text{ m}$        | 2,97 h               | 18,8 h              | 20,6 dana          | 91,7 dana           |

Slijedećim računom odredit ćemo krivulje zagrijavanja za debljine od 0,5 do 22 mm za grijala velikog toplinskog kapaciteta koja su termostatski upravljana na temperaturu  $110^\circ\text{C}$ . Ovaj primjer se u praksi najčešće pojavljuje.

Račun krivulje zagrijavanja u slučaju jednostrano beskonačno proširenog tijela od drveta. Utjecaj ima konstantnu temperaturu  $110^\circ\text{C}$ . Temperatura drveta iznosi  $20^\circ\text{C}$  ( $\Delta T_p = 90^\circ\text{C}$ ); vrsta drveta: hrast; smer toplinske struje: okomito na rasteenje;  $\lambda = 0,2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ;  $c = 2,4 \text{ kWs/kg}^\circ\text{C}$ ;  $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ .

$$\text{Toplinska vodljivost je } a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = \frac{0,2}{2,4 \cdot 10^3 \cdot 800} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$t = \frac{x^2}{a} \text{ Funkc. } \left( \frac{\Delta T_i}{\Delta T_p} \right)$$

Najpre ćemo izračunati vrijednost funkcije  $\Delta T_i / \Delta T_p$  za temperaturu 20, 40, 60, 80, 90, 100 i  $105^\circ\text{C}$ .

| $t$   | $\Delta t$ | $\Delta t / \Delta x$ | $\frac{t \cdot a}{x^2} = \text{Funkc. } \frac{\Delta t}{\Delta x}$ |
|-------|------------|-----------------------|--|
| 20°C  | 90°C       | 1,000                 | 0  |
| 40 "  | 70 "       | 0,777                 | 0,328  |
| 60 "  | 50 "       | 0,555                 | 0,859  |
| 80 "  | 30 "       | 0,333                 | 2,72   |
| 90 "  | 20 "       | 0,222                 | 6,34   |
| 100 " | 10 "       | 0,111                 | 25,3   |
| 105 " | 5 "        | 0,0555                | 114,0  |

Isto tako ćemo izračunati vrijeme ( $t$ ) za dubine  $x = 0,5; 1; 1,5;$   
2; 3; 5 mm. Vrijednosti za  $x$  moramo izraziti u metrima. Prema tome  
jednadžba daje za vrijeme  $t$  i dubinu  $x = 0,5$  mm:

$$x = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}; x^2 = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2; a = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s};$$

$$x^2/a = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} = 2,5 \text{ s}$$

$$t = 2,5 \cdot \text{Funkc.} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)$$

U dubini  $x = 0,5$  mm pojaviti će se temperatura 40°C poslije vremena  
 $t = 2,5 \cdot 0,328 \text{ s}$ . Ako na taj način računamo jednu tačku za drugom, dobit  
ćemo slijedeću tabelu:

Vrijeme zagrijavanja ( $t$ ) za razne dubine drvenog presjeka i razne  
temperature, ako temperatura grijaće ploče iznosi 110°C.

| Temperatura po-slije vremena ( $t$ ) |          |          |          |          |          |           |           |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $x$<br>mm                            | 20<br>°C | 40<br>°C | 60<br>°C | 80<br>°C | 90<br>°C | 100<br>°C | 105<br>°C |
| 0,5                                  | 0        | 0,82"    | 2'2"     | 6'9"     | 16"      | 1'3"      | 4'45"     |
| 1,0                                  | 0        | 3'3"     | 8'5"     | 27'2"    | 1'3"     | 4'13"     | 19'       |
| 1,5                                  | 0        | 7'4"     | 19'3"    | 1'1"     | 2'22"    | 9'29"     | 42'40"    |
| 2,0                                  | 0        | 13'1"    | 34'3"    | 1'51"    | 4'13"    | 16'51"    | 76'       |
| 3,0                                  | 0        | 29'5"    | 1'17"    | 4'4"     | 9'30"    | 38'       | 170'      |
| 4,0                                  | 0        | 52'4"    | 2'17"    | 7'16"    | 17'      | 67'30"    | 304'      |
| 5,0                                  | 0        | 1'22"    | 3'34"    | 11'20"   | 26'25"   | 105'30"   | 475'      |
| 7,0                                  | 0        | 2'41"    | 7'2"     | 22'10"   | 51'40"   | 206'40"   | 930'      |
| 9,0                                  | 0        | 4'46"    | 11'35"   | 36'40"   | 85'40"   | 344'      | 1533'     |
| 11,0                                 | 0        | 6'37"    | 17'6"    | 54'50"   | 127'40"  | 510'      | 2300'     |

|      |   |        |        |         |         |         |       |
|------|---|--------|--------|---------|---------|---------|-------|
| 14,0 | 0 | 10'44" | 28' 8" | 88'40"  | 206'40" | 826'40" | 3720' |
| 18,0 | 0 | 19' 4" | 26'20" | 164'40" | 342'40" | 1376'   | 6132' |
| 22,0 | 0 | 26'28" | 68'24" | 219'20" | 510'40" | 2040'   | 9200' |

---

Rezultati gornje tabele sakupljeni su u dijagramu na slici 21.

Vrijednosti za vrijeme nanijete su u logaritamskom mjerilu. I ovdje se dobro vidi kako sve sporije prodire toplinski val u dubinu. Da bi temperatura u 1 mm dubokom sloju porasla na  $90^{\circ}\text{C}$  potrebna je približno 1 min., a u sloju dubokom 2 mm potrebne su 4 minute.

Dijagram na slici 21 može se upotrebljavati u većini slučajeva grijala s velikim toplinskim kapacitetom koja rade s temperaturom  $110^{\circ}\text{C}$ . Dijagram je proračunan na podatke za hrastovo drvo, okomito na smjer raste-  
nja, no vrijedi i za ostale vrste tvrdog drveta, jer se vrijednosti, a' samo malo razlikuju. Za druge pak radne temperature treba ponoviti račun i izraditi sličan dijagram.

Pomoću ovog dijagrama i dijagrama za stvrdnjavanje ljepila (slika 12) može se sada utvrditi optimalno vrijeme za stvrdnjavanje ljepila (2.3.2.3).

2. Prostiranje topline kroz drveni presjek kod grijala sa srednjim i grijala s malim toplinskim kapacitetom. - Već i za sam jednostavni pri-  
mjer stalne temperature grijala, kao što smo to vidjeli u prijašnjem od-  
sjeku, bio je potreban dug račun da se dobiju krivulje zagrijavanja ko-  
je su koliko toliko univerzalne. U slučaju pak grijala s malim top-  
lin-  
skim kapacitetom račun bi bio neuporedivo kompliciraniji i rezultati ma-  
nje univerzalni, dok se grijala sa srednjim toplinskim kapacitetom u ve-  
ćini slučajeva uopće ne mogu izračunati. U takvom slučaju jedini je iz-  
laz električni toplinski model (Beukenov model) ili pak neposredno mje-  
rednje temperature.

Mjerenje temperature još uvijek je najtačnija metoda utvrđivanja kri-  
vulje zagrijavanja, jer pri računu treba karakteristične vrijednosti,  
kao što su  $\lambda$  i  $c$ , uzeti iz tabela, a ti podaci su obično neke prosječ-  
ne vrijednosti.

Krivulja zagrijavanja utvrđuje se mjerenjem kod svih tipova grijala jednako i jednostavno tako, da se u raspor gdje se lijepi umetne termoelement. Ovaj je priključen na instrumenat koji pokazuje temperaturu. Poslije uklapanja grijala ili pošto se na površinu drveta pritisne vruća grijaća ploča počnemo bilježiti temperaturu u podesnim vremenskim intervalima. Na taj način dobivene vrijednosti unesemo u dijagram koji je već tražena krivulja zagrijavanja. Potrebno vrijeme zagrijavanja dobije se opet pomoću dijagrama za stvrdnjavanje ljepila (2.3.2.1 do 2.3.2.3).

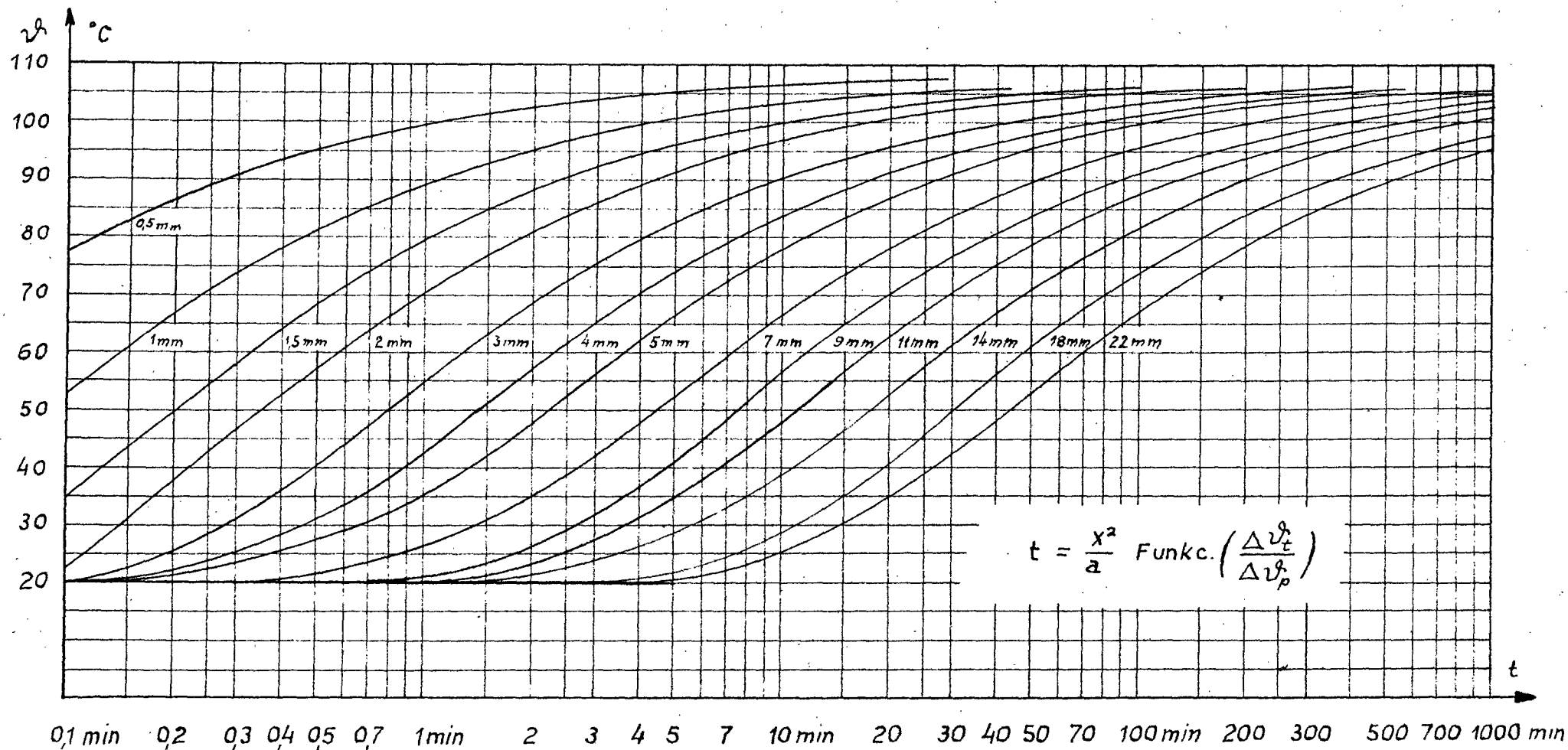
Više o mjerenju temperature vidjeti u slijedećem odsjeku!

#### 2.3.4 Električno mjerenje temperature u tehnici otpornog lijepljenja drveta.

S običnim živinim termometrima ne možemo si dosta pomoći kod mjerenja temperature pri otpornom lijepljenju, jer su ti termometri preveliki, da bi se mogli ugraditi između pojedinih slojeva ili čak prešati skupa s proizvodom. Ako bi se ti termometri i ugradili u drvo, oni bi nam izobličili toplinsko polje te mjerenje ne bi bilo tačno. Tekućinski termometri upotrebljavaju se dakle jedino za mjerenje okolne temperature i za baždarenje električnih mjerila temperature, ako ovi još nisu baždareni.

Jedini podesan način mjerenja temperature u našem slučaju je mjerenje s termoelementima. Njih ćemo ovdje podrobnije opisati.

Termoelement predstavlja dva, na jednom kraju zavarena ili također tvrdo ili meko lemljena kraka žice od dviju različitih kovina (sl.22). Ako var termoelementa ugrijavamo, na njegovim slobodnim krajevima pojavi se električni napon koji je to veći što je veća temperatura vara. Od vara dalje krakovi termoelementa moraju biti izolirani. Najviše se upotrebljavaju slijedeći parovi kovina: željezo-konstantan (Fe-konst.), bakar-konstantan (Cu-konst.), krom-nikel-nikel (Cr-Ni-Ni). Prvi od navedenih krakova uvijek je pozitivan, ako zavareni kraj termoelementa ima višu temperaturu od slobodnih krajeva. Uopće je kod mjerenja s termo-



Krivulje zagrijavanja za hrastovinu ( $\lambda = 0,2 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ,  $c = 2,4 \text{ kWs/kg}^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ ,  $a = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ) u slučaju vrlo debelog komada početna temperatura  $20^{\circ}\text{C}$ ; temperatura grijača iznosi  $110^{\circ}\text{C}$

elementima važna temperaturna razlika između vrućeg i hladnog kraja termoelementa. "Vrući kraj" nazivamo var obaju krakova, jer se on utakne u peć ali tamo gdje se želi izmjeriti temperatura, a "hladni" su slobodni krajevi, iako "vrući" kraj može imati nižu temperaturu od hladnog, kada se mjere nizke temperature.

Slobodni krajevi termoelementa priključe se na milivoltmetar ili pak na instrumenat čija je skala već označena u  $^{\circ}\text{C}$ . Vidi sliku 23 !

U svrhu tačnog mjerenja slobodni krajevi termoelementa izvedu se u posudu s ledom koji se tali (termos-boca), kako bi hladni kraj bio na nekoj stalnoj temperaturi (slika 24); za koliko se naime mijenja temperatura okolice gdje se nalazi hladni kraj termoelementa za toliko se takodjer razlikuje očitavanje na instrumentu od prave temperature. U blizini pak peći ili uređaja za grijanje te promjene i pogreške mogu biti vrlo velike. Na slici 24 prikazano je kako se priključuje termoelemenat Fe-konst., ako želimo da je hladni kraj u ledu koji se topi.

Ako se instrumenat za mjerenje temperature nalazi daleko od mjernog mjesta, termoelemenat se produži s takozvanim vodom za izjednačenje, koji ima iste termonapone kao termoelemenat, i bakrenim vodom. Na slici 25 prikazan je priključak instrumenta za mjerenje temperature na termoelemenat pomoću voda za izjednačenje i bakrenog voda. U tom slučaju nalazi se hladni kraj termoelementa na kraju voda za izjednačenje, tamo gdje se nanj priključuje bakreni vod.

Da bi hladni kraj termoelemenata bio na konstantnoj temperaturi, nalazi se u ovom slučaju u termostatu koji podržava uvijek konstantnu temperaturu hladnog kraja (obično  $50^{\circ}\text{C}$ ). Budući da je vod za izjednačenje skuplji od bakrenog voda, on se izvede samo toliko dug da se izadje iz područja viših temperatura, kako bi se tamo smjestio termostat, posuda s ledom, ili pak da je tamo već okolna temperatura koliko toliko konstantna.

Za niske temperature, kakve se susreću pri otpornom lijepljenju, upotrebljavaju se isključivo željezo-konstantan termoelementi koji imaju najveći termonapon. Kod temperature  $+100^{\circ}\text{C}$  iznosi napon termoelementa



Fe-konst. 5,37 mV, ako je hladni kraj na temperaturi  $0^{\circ}\text{C}$  (led koji se topi), ili + 4,32 mV kod  $20^{\circ}\text{C}$  (temperatura okolice), ili +2,72 mV kod  $50^{\circ}\text{C}$  (termostat) temperature hladnog kraja.

Pri nabavi termoelemenata ne bismo se mogli mnogo koristiti s običnim komercijalnim termoelementima čija debljina iznosi 1 ... 3 mm. Nabaviti treba žicu Fe i konstantan (specijalni za termoelemente) u inozemstvu. Proizvodi je na primjer firma Degussa, Hanau, Zapadna Njemačka. Žica je već lakirana i izolirana svilom, ako takvu želimo. Da bi se izbjegle nabavke u inozemstvu, preporučujemo nabavku nekoliko mjetara pletenog voda za izjednačenje Fe-konst. (spletica!), na primjer u tvornici "Iskra" u Kranju. S jedne i druge žile voda za izjednačenje pomnjivo odstranimo izolaciju i pojedine pramene, čija debljina iznosi 0,2 mm, lemino u termoelemente. U jednoj spleatici nalazi se oko 50 takvih premena. Budući da su ti prameni goli, moramo ih uvući u što je moguće tanje bužir cijevke (0,5 mm ili tanje). Ako mjerimo temperaturu u sloju ljepila, mogu se upotrebiti goli krakovi. Pri tome treba paziti da se već blizu vara krakovi udalje jedan od drugog barem za 10 cm, kako zbog spoja po mokrom ljepilu ne bi došlo do pogrešnih očitavanja. Udaljenost 10 cm predstavlja već toliki otpor, da primjetljivo ne utječe na mjerenje.

Termonaponi koji su veličinskog reda samo nekoliko tisućinki volta mjere se vrlo preciznim instrumentima. Srećom se ti instrumenti već mogu dobiti na domaćem tržištu - izrađuje ih tvornica "Iskra" u Kranju. Instrumenti mogu imati skalu označenu u stupnjevima Celsija, ako se tako naruči. Prilikom uarudžbe treba navesti i nekoliko dodatnih podataka, zato ćemo reći još nekoliko riječi o tim instrumentima.

Postoje - i tvornica "Iskra" također ih izrađuje - dvije vrste instrumenata za mjerenje termonapona, i to:

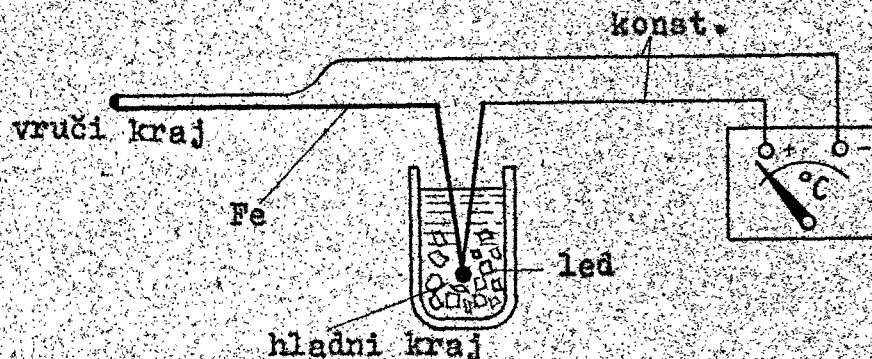
3.4.1 Milivoltmetri u izvedbi kao obični pokazni instrumenti sa zakretnim svitkom. - Želimo li da skala bude označena u stupnjevima Celsija, pri narudžbi moramo navesti da ćemo instrumenat upotrebljavati u kombinaciji s termoelementom Fe-konst., a opseg skale neka iznosi do  $150^{\circ}\text{C}$ .



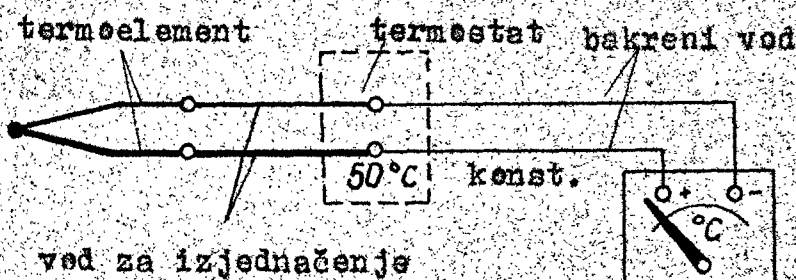
Slika 22. Termoelement



Slika 23. Priključivanje termoelementa na instrument za merjenje temperatura



Slika 24. Priključivanje termoelementa za tačnije mjerenja



Slika 25. Spoj termoelementa i vode za izjednačenje

Budući, da u samom termoelementu i u dovodima nastaju zbog mjerne struje padovi napona, treba navesti takodjer otpor termometarskog kruga. Pod otporom termometarskog kruga razumijevaju se svi otpori: termoelemenat, eventualni vod za izjednačenje i bakreni vod do stezaljki instrumenta. U našem slučaju, gdje termoelementi moraju biti vrlo tanki, zahtijevat ćemo instrumenat za otpor termometarskog kruga 20 oma! U tom slučaju moći ćemo upotrebljavati termoelemenat Fe-konst.s promjerom krakova  $\phi = 0,2$  mm i dužine 1 m. Kod  $\phi = 0,3$  mm termoelemenat može biti dug 225 cm. Time je dana mogućnost da se prilikom mjerenja temperature u sloju ljepila termoelemenat odstriže i ostavi u proizvodu, a ostatak se ponovo zavari ili zalemi te upotrijebi za slijedeće mjerenje. Radimo li tako, svaki slijedeći termoelemenat imati će manji otpor te će instrumenat pokazivati temperaturu veću nego što je u zbilji.

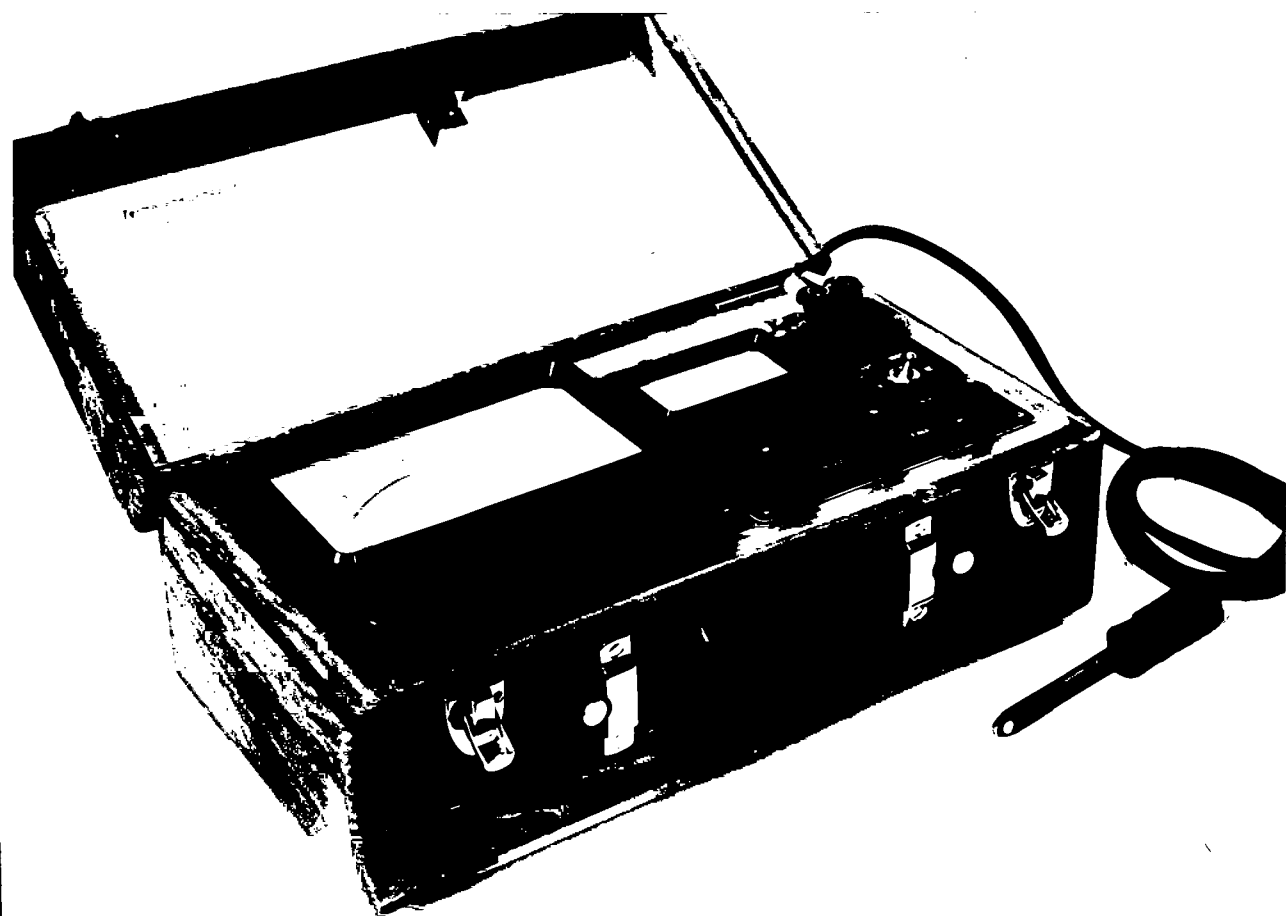
Zbog toga treba u termometarski krug uključiti i dodatni korekcionni otpornik, koji se svaki put udesi tako da termometarski krug na instrumentu ima zahtijevani otpor (u našem slučaju na primjer 20 oma). Na slici 26 shematski je prikazano kako se uključuje korekcionni otpornik u termometarski krug.

Kod naših kontrolnih mjerenja i snimanja karakteristika neće nam biti potrebni vodovi za izjednačenje, nego ćemo radije uzimati duže termoelemente i priključivati ih direktno na bakreni vod ili pak na instrumenat. Jedina nezgodna stvar koje se ne možemo osloboditi je utvrđivanje otpora termometarskog kruga i udešavanje korekcionnog otpornika.

Prilikom narudžbe instrumenata ne smijemo zaboraviti navesti takodjer kod koje temperature treba da je početak skale. Ako se hladni kraj nalazi u ledukoji se topi, zahtijevat ćemo početak kod  $0^{\circ}\text{C}$  (za laboratorijske svrhe), ako se taj kraj nalazi u termostatu (za stalna pogonska mjerenja), zahtijevat ćemo početak skale kod temperature termostata (obično kod  $50^{\circ}\text{C}$  - takvi termostati u zemlji se još ne izradjuju), ako pak hladni kraj ostavimo jednostavno na otvorenom (kod kontrolnih mjerenja), zahtijevat ćemo početak skale kod  $20^{\circ}\text{C}$ . Ako je u ovom posljednjem slu-

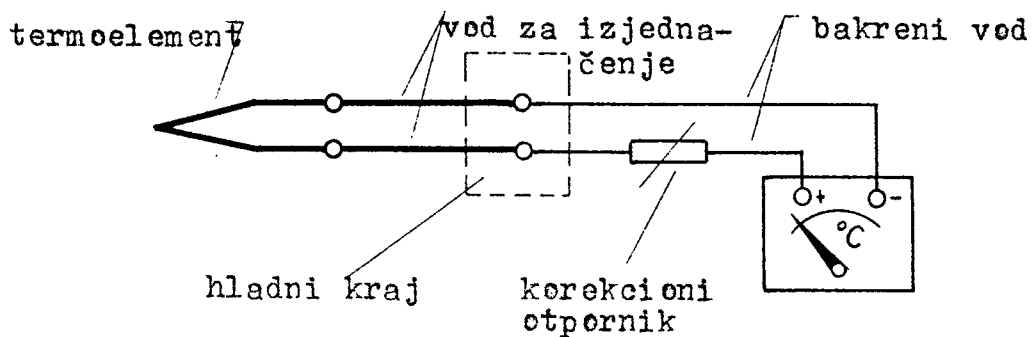
čaju prilikom mjerenja temperatura hladnog kraja na primjer za  $5^{\circ}\text{C}$  iznad  $20^{\circ}\text{C}$ , korigirat ćemo pogrešku time da očitanju na instrumentu dodamo  $5^{\circ}\text{C}$  te ćemo dobiti pravu temperaturu. Ako je pak temperatura hladnog kraja niža od  $20^{\circ}\text{C}$ , razliku ćemo odbiti od očitavanja. Cijena instrumenata sa zakretnim svitkom za mjerenje temperature koje izrađuje tvornica "Iskra" iznosi oko 25 000 dinara.

3.4.2 Kompenzatori napona ne traže određeni otpor termometarskog kruga, jer napone mjere tako da termometarskim krugom ne teče nikakva struja. Zato se takodjer ne pojavljuje pad napona te se mogu upotrebljavati po volji dugi i debeli termoelementi, a da zato očitavanja ne budu pogrešna. Otpada takodjer korekcionni otpornik i njegovo baždarenje, a to je velika prednost u odnosu na pokazne instrumente sa zakretnim svitkom. Mjerenje s ovim instrumentima brzo je i tačno. U svrhu korekcije temperature hladnog kraja ugradjen je živin termometar. Na slici 27 prikazan je kompenzator sistema Lindeck-Rothe, proizvod tvornice "Iskra" u Kranju. Prilikom narudžbe instrumenta treba navesti vrstu termoelementa s kojim se namjerava vršiti mjerenje (Fe-konstantan) i mjerni opseg (npr.  $150^{\circ}\text{C}$ ). Može se tražiti takodjer više opsega, jer takav instrumenat nije bitno skuplji. Njegova cijena iznosi približno 130.000 dinara.

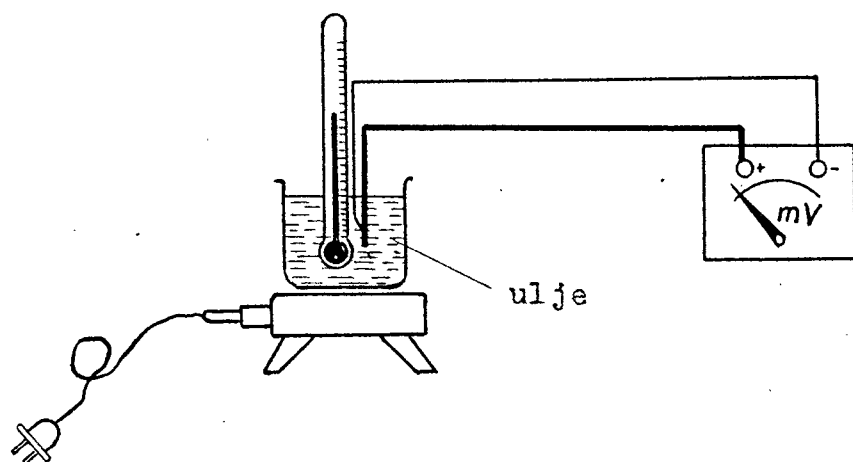


Slika 27.- Kompenzator sistema Lindeck-Rothe za mjerenje temperature.  
Proizvod tvornice "Iskra", Kranj.

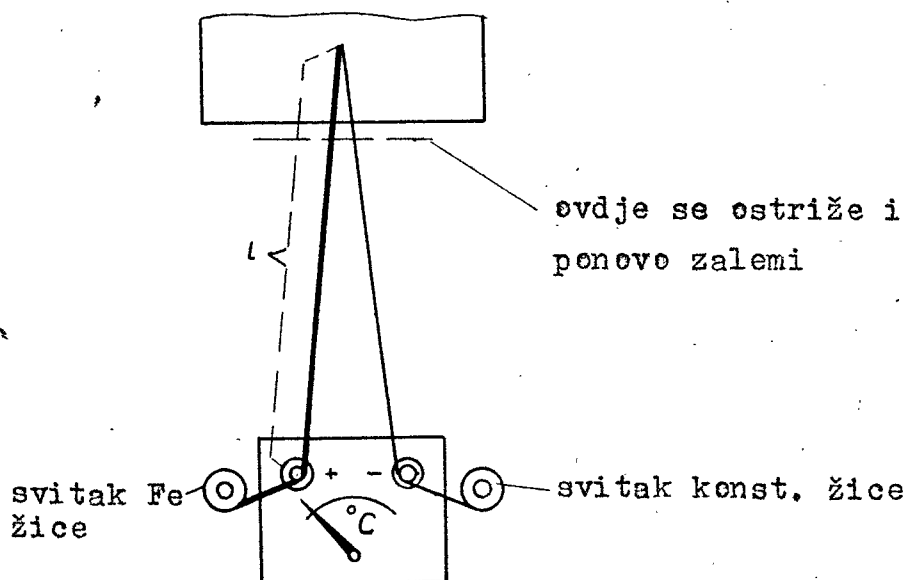
3.4.3 Baždarenje termoelemenata. - Termoelemenat ili instrumenat se baždari ako se dobije novi materijal za termoelemente ili pak ako je skala instrumenta označena u kojim drugim jedinicama. Baždarenje se vrši time da se termoelemenat zaroni u posudu s uljem koje se zagrijava. Temperatura ulja mjeri se običnim živinim termometrom te se bilježe otkloni na instrumentu i pripadajuće temperature (slika 28). Ulje se upotrebljava zato da bi se moglo zagrijavati i preko  $100^{\circ}\text{C}$ , što nije slučaj s vodom. Treba paziti da se rezervoar žive termometra i var termoelementa nalaze što bliže jedan drugoga. Najbolje je da se svežu zajedno. Paziti treba također da su krakovi termoelementa od vara dalje međusobno izolirani i da se zagrijavanje ne odvije prebrzo. Živin termometar obično ima veći toplinski kapacitet i zato se ugrijava sporije od ter-



Slika 26. Termometarski krug s korekcionim otpornikom



Slika 28. Baždarenje termoelementa (kod temperature okoline 20°C)



Slika 29. Mjerenje temperature "beskenačnim" termoelementom

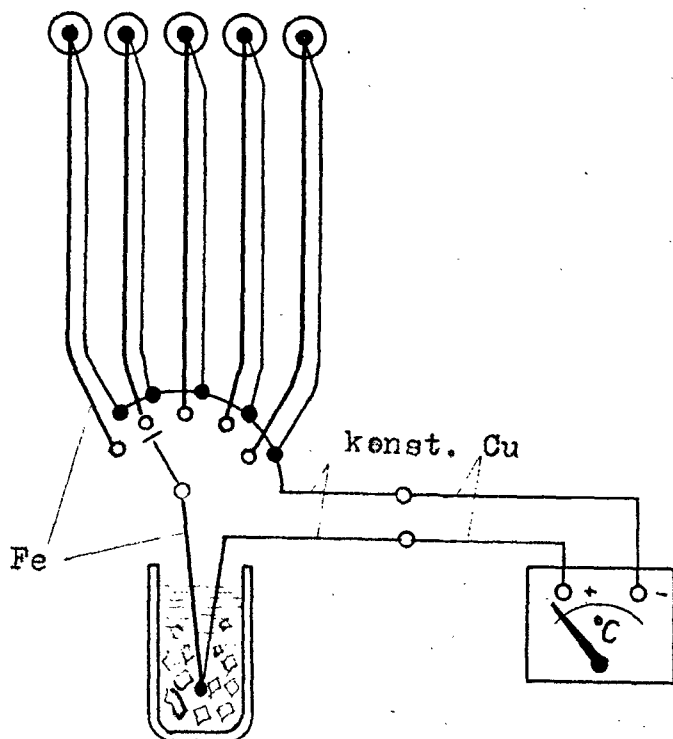
moelementa, te bi zbog toga mogle nastati nepotrebne pogreške. Najbolje je da se očitavanja vrše kada se posuda s uljem ohlađuje. Po podacima na taj način može se nacrtati skala u  $^{\circ}\text{C}$  ili se pak načini dijagram koji se potom pri mjerenju upotrebljava za utvrđivanje temperature.

Ako se je termoelemenat baždariilo milivoltmetrom sa zakretnim svetkom, prilikom mjerenja temperature dužina termoelementa mora ostati uvijek ista, a ako se ona skрати treba dodati otpornik kako se nebi promijenio otpor termometarskog kruga. Pri mjerenju kompenzatorom otpor termometarskog kruga nije od značaja.

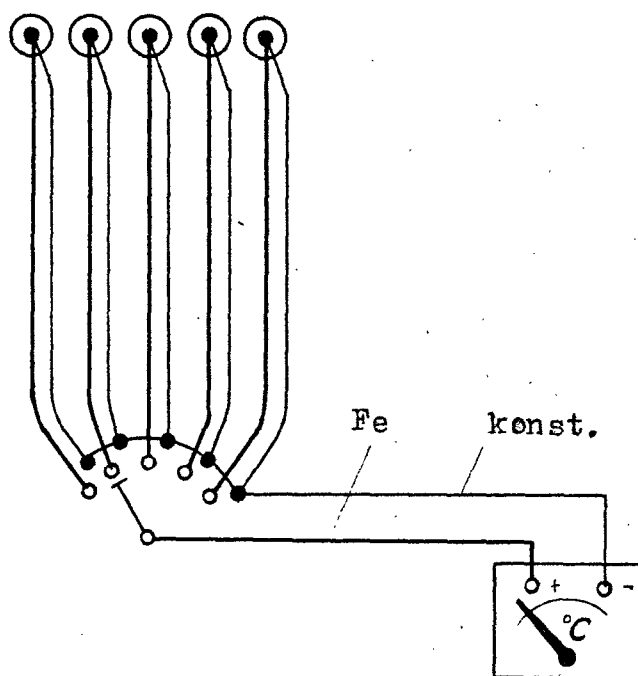
Svaki termoelemenat ne treba posebno baždariti, ako su svi potpuno jednaki (ista debljina žila, ista dužina, isti materijal). Budući da su termonaponi žica za termoelemente normirani, mogu se kombinirati čak materijali raznih firma, ali to se ne preporučuje.

4.4 Mjerenje temperature.- Samo mjerenje temperature pomoću termoelemenata potom je jednostavno. Termoelemenat se umetne u raspor gdje se namjerava mjeriti temperatura te se u stanovitim vremenskim intervalima očitaju podaci na instrumentu i istovremeno bilježi vrijeme takodjer temperatura. Ako se temperatura mjeri u sloju ljepila, poslije završenog mjerenja termoelemenat treba ostaviti jednostavno u proizvodu. On se pri kraju odreže. Da se pri svakom mjerenju ne bi odbacivali pre ostali krajevi termoelemenata, u Laboratoriju za elektrotermiju u Ljubljani riješili smo to na način prikazan na slici 29. Dva svitka s namotanom žicom za termoelemente pričvrste se na instrument tako, da oba kraka prolaze neprekinuto kroz stezaljke. Kada se odrezani krajevi ponovo zaleme, popuste se stezaljke na instrumentu te termoelemenat opet produži na prvobitnu dužinu i koja osigurava traženi otpor termometarskog kruga.

Ako se želi temperatura mjeriti istovremeno na više mjesta (kako bi se utvrdila jednolikost zagrijavanja na raznim mjestima kalupa ili na raznim pločama), upotrebljava se u tu svrhu višepolna preklopka. Na slici 30 prikazana je spojna shema takve preklopke za slučaj da se hladni kraj termoelementa nalazi u ledu koji se topi, a na slici 31 za slučaj da se taj kraj nalazi slobodno u zraku.



Slika 30. Višepolna preklopka za termoelemente. Hladni kraj nalazi se u ledu koji se topi



Slika 31. Višepolna preklopka s termoelementima i instrumentom



Slika 32 je fotografija takve preklopke koja je montirana jednostavno na čep termos-boce.



Sl. 32. - Višepolna preklopka s termoelementima za mjerenje površinskih temperatura. Preklopka je montirana na čep termos-boce sa širokim vratom.

Mjesto jednostavnih varova vrućeg kraja u obliku kuglice, ovdje su krakovi ugradjeni u okrugle pločice od tankog bakrenog lima. Zato je toplinski kontakt bolji. Ovi termoelementi naročito su podešeni za mjerenje površinskih temperatura.

Vidi takodjer indirektno mjerenje temperatura u odjsjeku 4.1.5.1!

Vrijeme ugrijavanja - iskustveni podaci i uputstva. Aproksimativni računi.

Vrijeme koje je potrebno za stvrdnjavanje ljepila, tj. vrijeme u kome moraju biti predmeti koji se lijepe stisnuti, varira od 3 minute

do otprilike 20 minuta, ako se upotrebljava obično urea-formaldehidno ljepilo. Medjutim, to vrijeme ovisi o cijelom nizu faktora, tj. o vrsti ljepila, o dubini sloja koji se lijepi, o vrsti drveta, o temperaturi i o vremenskoj ovisnosti temperature grijala, o vrsti grijala. Razumije se da tokom čitavog vremena kada se ljepilo stvrdnjava grijalo nije uklopljeno tokom cijelog vremena stvrdnjavanja ljepila. Grijalo se najčešće još prije isteka vremena isklupi te se za konačno stvrdnjavanje koristi akumulirana toplina. Za grijala srednje specifične snage omjer obaju vremena iznosi otprilike: 60 % cjelokupnog vremena grijala su uklopljena, a 40 % tog vremena grijala su isključljena ili im je pak snaga smanjena na jednu polovicu ili na jednu četvrtinu vrijednosti. Razumije se da sve to ovisi o vrsti grijala te ćemo zato razmotriti prilike za sve tri vrste grijala.

G r i j a l a   v e l i k o g   t o p l i n s k o g   k a p a c i t e t a ne isklapaju se prije završetka pojedinog ciklusa. Ova grijala imaju obično termostatsku regulaciju temperature te se isklapaju automatski kada se temperatura snizi ispod namještene vrijednosti. Ova grijala rade s konstantnom temperaturom, a vrijeme zagrijavanja prilično se tačno podudara s podacima iz odsjeka 2.3. Ako su pauze između pojedinih ciklusa duže nego što traži izmjena komada, preporučuje se da se u međuvremenu preša zatvori, kako se grijaće ploče ne bi ohladjivale te se energija ne bi gubila bez potrebe.

Navesti ćemo nekoliko iskustvenih podataka za vrijeme zagrijavanja u slučaju grijala velikog toplinskog kapaciteta.

1. p r i m j e r . Pri furniranju kutija za radioprijemnike upotrebljavano je termostatski upravljano grijalo konstantne temperature 150°C. Istovremeno se je vršilo furniranje šest gornjih dijelova kutija. Iskorišćena je bila gornja i donja strana grijala. Tri kutije su bile pritisknute na gornju stranu grijala, a tri na donju. Na taj način se je postigla maksimalna toplinska koristnost. Furnirani dijelovi kutija bili su od vezanih ploča ukupne debljine 9 mm. Proces lijepljenja bio je završen u tri minute.

2. p r i m j e r . Pri furniranju unutrašnjosti kutija za radioaparate 2,8 mm debelim furnirom od hrasta ili mahagonija upotrebljavano je isto termostatski upravljano grijalo temperature 150°C. Vrijeme stvr-

dnjavanja iznosilo je 8 minuta.

3. p r i m j e r . Pri izradbi naslona za sjedalice bio je sastav slojeva slijedeći:

4 mm debelu jezgru od brezovog drveta dimenzija 59 . 41 cm trebalo je s obje strane oblijepiti s 4 komada 1 mm debelog brezovog furnira dimenzija 21 . 41 cm. Temperatura termostatski upravljanog kalupa iznosila je  $100^{\circ}\text{C}$ . Proces lijepljenja bio je završen u 8 minuta.

K o d g r i j a l a s n i s k i m t o p l i n s k i m k a p a c i t e t o m brzina porasta temperature na pojedinim mjestima ovisi o specifičnoj snazi grijala. Navodimo nekoliko rezultata mjerenja temperature za grijala malog toplinskog kapaciteta.

1. p r i m j e r . Sl. 33.- Na jezgru debljine 12,5 mm lijepi se s obje strane furnir debljine 1,6 mm. Termoelementi su umetnuti na slijedeća mjesta: prvi neposredno između grijala i furnira, drugi u ljepilo - t.j. 1,6 mm duboko, a treći u sredinu jezgre - t.j. 7,8 mm ispod površine.

Čim se napon narine na grijalo (slika 33), temperatura grijala (termoelement br. 1) počne da raste, a s malim zakašnjenjem i temperatura u sloju ljepila (br. 2), dok temperatura u sredini jezgre (br. 3) počinje rasti znatno kasnije. Kada se poslije 4 minute grijalo isklupi, njegova temperatura počne se odmah snizivati. Temperatura ljepila raste još nekoliko trenutaka, zatim se počne i ona smanjivati, dok u sredini jezgre temperatura raste još mnogo vremena poslije isklapanja grijala. Temperatura se stacionira u svim tačkama kod približno  $75^{\circ}\text{C}$ .

Specifična snaga grijala iznosila je u prvom pokusu  $6500 \text{ W/m}^2$ , u drugom pak pokusu napon grijala smanjen je na polovicu vrijednosti (preklapanje obaju grijala iz paralelnog u serijski spoj) te se je specifična snaga grijala smanjila na jednu četvrtinu, t.j. na  $1620 \text{ W/m}^2$  (crtkane krivulje).

Razmotrimo li tačnije dijagram 33 utvrdit ćemo slijedeće:

| =====  |                        |                        |
|--|------------------------|------------------------|
| Specifična snaga grijala   |                        |                        |
|  | 6 500 W/m <sup>2</sup> | 1 620 W/m <sup>2</sup> |
| =====  |                        |                        |
| Dubina lijepljenog sloja   | 1,6 mm                 | 1,6 mm                 |
| Vrijeme porasta temperature  | 3,8 minut              | 14 minut               |
| Porast temperature za  | 61°C                   | 56°C                   |
| Prosječna brzina porasta temperature   | 16°C/min.              | 4°C/min.               |
| Prosječna brzina porasta temperature na 1000 W/m <sup>2</sup> specifične snage | ca 2,5°C/min!          | ca 2,5°C/min!          |
| =====  |                        |                        |

Pomoću ove tabele koja je rezultat mjerenja dolazimo do značajne konstatacije: Kod grijala s malim toplinskim kapacitetom iznosi prosječna brzina porasta temperature otprilike 2,5°C/min za svakih 1000 W/m<sup>2</sup> specifične snage. Ovo iskustveno pravilo vrijedi za dubinu 1,6 mm te se prema tome može primjenjivati za sve vrste furnira do te dubine. Vrijeme za pliće slojeve ne razlikuje se mnogo od te vrijednosti. Ovaj iskustveni podatak upotrebljava se za utvrđivanje vremena strdnjavanja ljepila, ako se temperatura ne može izmjeriti u sloju ljepila. Razumije se da za veće dubine dolaze u obzir druge vrijednosti.

Na slici 33 vidi se takodjer da je u prvom slučaju (pogon sa 6500 W/m<sup>2</sup>, 4 minute) potrošena skoro jednaka količina električne energije kao i u drugom slučaju (1620 W/m<sup>2</sup> i 14 minuta). U oba slučaja postigla se ista konačna temperatura, no proces lijepljenja znatno je brže završen u prvom slučaju. Kod debljih panel-ploča postižava se velikim specifičnim opterećenjima vrijeme stvrdnjavanja uz isti potrošak električne energije. Preporučuje se ca 4000 W/m<sup>2</sup> s brzinom porasta temperature 10°C/min.

2. p r i m j e r . Kao u prvom primjeru, i ovdje su grijala specifične snage  $6500 \text{ W/m}^2$  u prvom i  $1620 \text{ W/m}^2$  u drugom slučaju. I ovdje se smanjivanje snage na  $1/4$  prvobitne vrijednosti postizava smanjivanjem napona na jednu polovicu time da se dva grijala preklope iz paralelnog u serijski spoj. Razlika je ovdje samo u debljini panel-ploča, koje su u ovom slučaju debele  $66,2 \text{ mm}$  (slika 34).

Vidimo da temperatura na grijaćoj ploči i u ljepilu raste otprilike jednakom brzinom kao u prvom primjeru (slika 33), ali kada se struja isklopi temperatura se smanjuje znatno brže jer se toplotina odvodi u presjek koji je ovdje znatno deblji. Ako bismo sada pomoću dijagrama (slika 12) za stvrdnjavanje ljepila (odsjek 2.3.2.3) utvrđivali za gornje krivulje vrijeme koje je potrebno za stopostotno stvrdnjavanje ljepila, došli bismo do zaključka da su za veće debljine panel - ploča pogodnije veće specifične snage grijala.

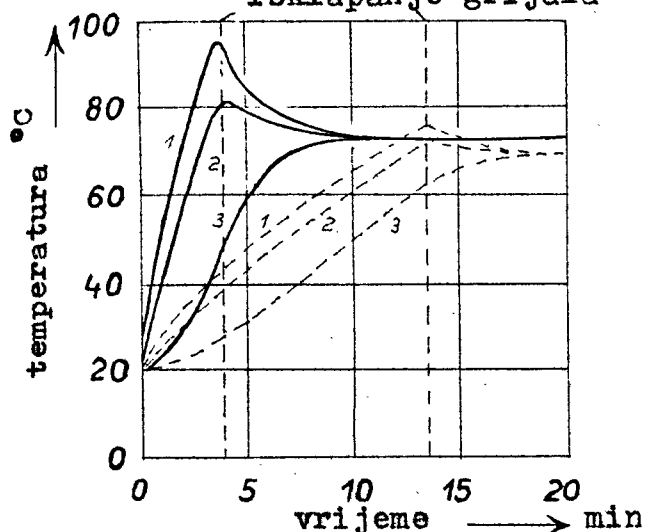
3. p r i m j e r . Na slici 35 prikazane su krivulje zagrijavanja i ohladjivanja za panel-ploču debljine  $66,2 \text{ mm}$  za tačke: 1 - na grijalu; 2 - u dubini  $1,6 \text{ mm}$ ; 3 - u dubini  $3,2 \text{ mm}$ ; 4 - u dubini  $5 \text{ mm}$  i 5 - u dubini  $13 \text{ mm}$ .

Crtkane krivulje predočavaju vremenski tok temperature ako se poslije  $3,8$  minuta grijalo preklopi na jednu polovinu napona (jedna četvrtina snage), mjesto da se ono isklopi. Na slici je vidljiva velika prednost preklopavanja grijala na manju snagu, jer se time dobiva izvanredno lijep vremenski tok temperature, kako bi se dobilo kraće vrijeme stvrdnjavanja ljepila.

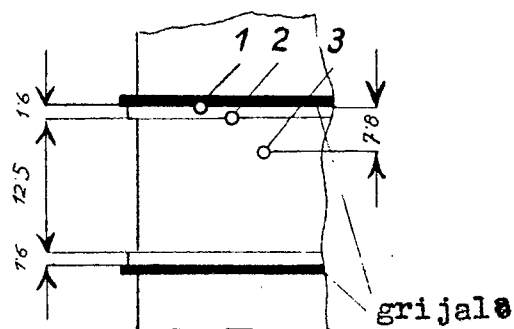
Za grijala srednjeg toplinskog kapaciteta ne navodimo nikakve iskustvene podatke zbog velikih razlika u konstrukcijama, Podaci raznih autora razlikuju se također za  $100\%$  i više.

Budući da su nam sada poznate osobine grijala, shvatit ćemo te velike razlike. Jedina metoda koja nam ovdje može dati optimalni rezultat za naše grijalo je utvrđjivanje krivulja zagrijavanja mjerenjem i računanje vremena za  $100\%$  stvrdnuće ljepila.

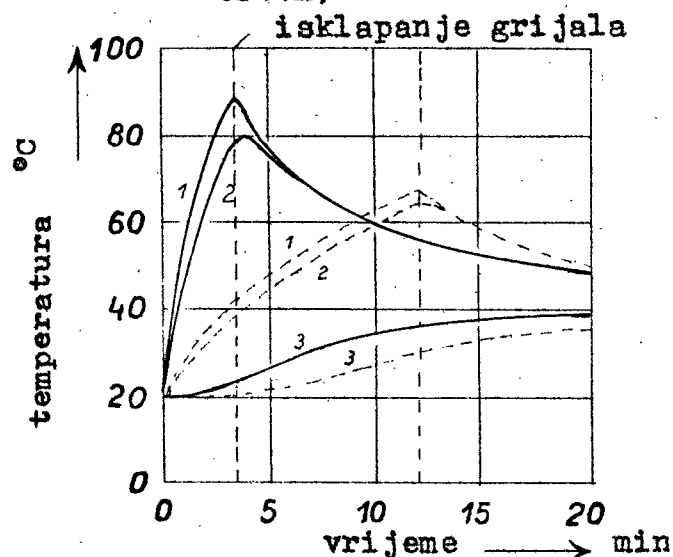
### isklapanje grijala



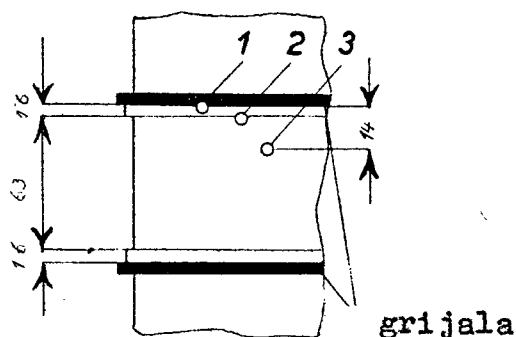
### položaj termoelemenata



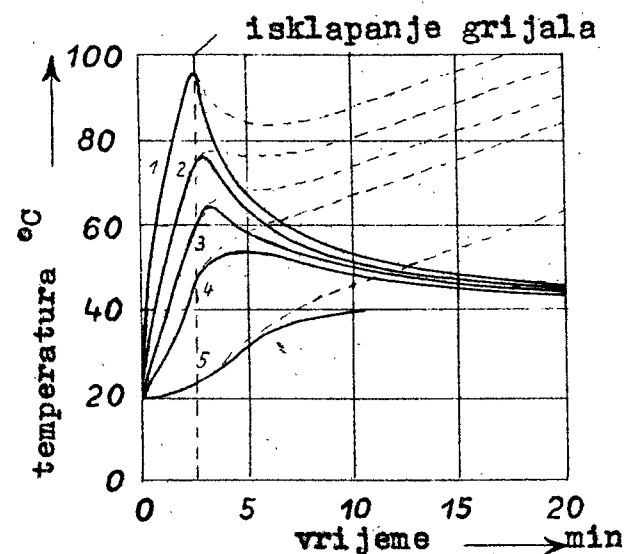
Slika 33. Krivulja zagrijavanja i hlađenja za panel ploču debljine 5,7 mm Specifična snaga grijala:  $6500 \text{ W/m}^2$  (puno izvučeno),  $1620 \text{ W/m}^2$  (označeno isprekidanom crtom)



### položaj termoelemenata



Slika 34. Krivulja zagrijavanja i hlađenja za panel ploču debljine 66,2 mm Specifična snaga grijala:  $6500 \text{ W/m}^2$  (puno izvučeno),  $1620 \text{ W/m}^2$  (označeno isprekidanom crtom)



Slika 35. Krivulje zagrijavanja i hlađenja za panel ploču debljine 66,2 mm. Crtkane krivulje označuju vremenski tok temperature u slučaju da se snaga grijala smanji na  $1/4$  mjesto da se grijala iskllope. Termoelementi se

nalaze u dubinama: 1 na grijalu, 2 - 1,6 mm 3 - 3,2 mm 4 - 5 mm 5 - 13 mm

UTVRDJIVANJE SPECIFIČNE SNAGE GRIJALA ( $W/m^2$ ) KOJA JE POTREBNA DA BI SE POSTIGLA TRAŽENA TEMPERATURA KOD RAZNIH VRSTA GRIJALA

Na svaki način je najkarakterističniji i najupotrebljiviji podatak svakog grijala njegova specifična snaga, tj. snaga na jedinicu grijaće površine.

Specifična snaga, koja se navodi u  $W/m^2$ , zadana je izrazom:

$$p = \frac{P}{S}$$

gdje je:

$p$  = cjelokupna snaga grijala u  $W$ ,

$S$  = površina onog dijela grijala koje predaje toplinu u  $m^2$ ,

$P$  = specifična snaga grijaće površine u  $W/m^2$ .

Budući da se u literaturi  $p$  često navodi takodjer u  $W/cm^2$ , pri pre-računavanju treba uzeti da je  $1000 \text{ } W/m^2 = 0,1 \text{ } W/cm^2$ .

Dok veličina  $P$  koja je nedvojbeno određena električnom snagom koja dolazi u grijalo i može da se izmjeri, veličina  $S$  najčešće je problematična. Grijalo, koje bi trebalo da predaje toplinu jedino u predmet koji se lijepi, predaje jedan dio topline takodjer u kalup. Procentualni dio koji otpada na kalup u većini slučajeva je nepoznat i, što je još gore, s vremenom se mijenja. Ispočetka, dok je preša još hladna, za zagrijavanje kalupa troši se mnogo više energije nego poslije kada su kalupi već topli te se pretežan dio proizvede topline usmjerava u proizvod. I pauze između pojedinih ciklusa koje traju različito dugo mijenjaju tu podjelu energetske toke. Jednostavnija stvar je međjutim kod lamelnih grijala, gdje grijala predaju toplinu u proizvod s obje strane. Postavlja se dakle pitanje, koje grijaće površine treba uzeti pri računanju specifične snage? Odgovor: Pri računanju specifične snage uzima se u obzir cijela stranica (stranice) grijala koja je okrenuta prema proizvodu. Kod lamelnih konstrukcija uzimaju se dakle u obzir obje strane grijala, a kod kalupa samo jedna.

Kako u pojedinim tačkama presjeka drveta temperatura ovisi o specifičnoj snazi grijala odnosno o temperaturi grijala i o vremenu zagrijavanja, već smo obradjivali u prijašnjem poglavlju za svaki tip grijala posebno; ovdje želimo utvrditi jedino najpodesniju specifičnu snagu za pojedine tipove grijala.

Veća specifična snaga uzima se kada se želi postići kraće vrijeme stvrdnjavanja, no zbog toga, razumije se, poskupljuju uređaji za opskrbu električnom energijom, transformatori, vodovi itd. Uz to treba voditi računa i o većem doprinosu za povećano vršno opterećenje (koje bilježi brojilo s maksigrafiom). Cijena za 1 kW vrška pri mjerenju na donjonaponskoj strani iznosi sada 1400 Din. Ako bi se, na primjer, za neku prešu sa 6 m<sup>2</sup> grijaćih površina bez potrebe povećala specifična snaga grijala od 1500 W/m<sup>2</sup> na 4500 W/m<sup>2</sup>, samo doprinos za povećano vršno opterećenje iznosio bi mjesečno 25 000 Din više, ili godišnje 280 000 Din, i to samo za jednu prešu. Pri tome nisu uračunati kapitalni troškovi.

Kako smo vidjeli u prijašnjem poglavlju, p o t r o š a k e l e k t r i č n e e n e r g i j e uglavnom je jednak bez obzira na specifičnu snagu grijala. Zbog povećane priključne snage (vršak) rastu troškovi za električnu energiju sa specifičnom snagom grijala.

Ako preše ne predstavljaju uska grla proizvodnje, preporučuju se donje granice specifičnih snaga grijalač. Pravilo je: N a j p o v o l j n i j a i n a j e k o n o m i č n i j a j e o n a s p e c i f i č n a s n a g a g r i j a l a k o j a o s i g u r a v a p o g o n p r e š e b e z p r e k i d a.

Svatko naime mora za svoj pogon utvrditi optimalne vrijednosti. U nastavku navodimo opsege u kojima bi trebalo da variraju te vrijednosti. S vremenom, ako se proizvodnja poveća i preše postanu usko grlo, često se može samo preklapanjem grijala ili regulacijom napona na primarnoj



strani transformatora povećati specifična snaga i time skratiti vrijeme stvrdnjavanja. Tako će pogon opet postati što je moguće ekonomičniji.

### 3.1 U t v r d j i v a n j e   s p e c i f i č n e   s n a g e   g r i j a - l a   v e l i k o g   t o p l i n s k o g   k a p a c i t e t a .

Ova grijala imaju obično najmanju specifičnu snagu, jer mogu biti uključena i za vrijeme pauza između pojedinih ciklusa. Kroz to vrijeme se toplina u njima korisno akumulira. Potom se ta toplina, kao i toplina koju grijala stalno proizvode, iskoristava u radnom periodu za zagrijavanje proizvoda. Termostat se brine da temperatura grijala ne poraste iznad namještene vrijednosti. Najekonomičnija je ona specifična snaga koja osigurava da je grijalo što duže vremena uklopljeno. U takvom slučaju grijala imaju najnižu snagu. Zbog rezerve koja mora postojati, kao i zbog toga da se <sup>za</sup> početak vrijeme zagrijavanja ne postane predugo, neka je specifična snaga tolika, da uklopno vrijeme bude 70 ... 80%. Sve to, razumije se, u slučaju ako se proizvodnja ne misli znatno povećati.

Specifična snaga grijala velikog toplinskog kapaciteta varira u granicama

$$p = 1000 \text{ do } 4500 \text{ W/m}^2,$$

u ovisnosti o namještenoj temperaturi grijala, o vremenu kroz koje se predmet nalazi u preši, o trajanju pauza između pojedinih ciklusa, o toplinskim gubicima itd.

Vrijeme stvrdnjavanja može se skratiti i proizvodnja jednostavno povećati time da se dugme termostata okrene na višu temperaturu. Zbog toga treba već od samog početka pri projektiranju grijala predvidjeti neku rezervu. Specifična snaga neka je tolika, da uklopno vrijeme grijala iznosi 50 %. Na taj način je dana mogućnost da se s vremenom

produkcija povećava za 100%. Tada će i uklopno vrijeme iznositi 100%. Odatle dalje nema smisla da se temperatura namješta više, jer se ona neće povećavati. Dotok energije jednak je potrošku te se proizvodnja može povećati jedino time da se povećava specifična snaga grijala.

Na jednom primjeru pokazati ćemo, kako se pri projektiranju utvrđuje za zadane uvjete grijalu odgovarajuća specifična snaga.

**P r i m j e r .** Za dubinu otprilike 3 mm sloja koji se lijepi dobili smo pomoću dijagrama (slika 21) koji predstavlja krivulju zagrijavanja i slike 12 (dijagram stvrdnjavanja formaldehidnog ljepila) za temperaturu grijala 110°C vrijeme stvrdnjavanja 5 minuta. Sloj koji se lijepi je od hrastovog drveta ( $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ ,  $c = 2,4 \text{ kWs/kg } ^\circ\text{C}$ ). Proizvod će se dakle nalaziti u preši 5 minuta, a za izmjenu proizvoda biti će potrebne 3 minute. Jedan ciklus trajati će 8 minuta.

Pomoću dijagrama (sl.21) utvrdi se koliko je u 5 minuta, kada se je nalazio u preši, proizvod primio topline od 1 m<sup>2</sup> površine grijaće ploče. To se izvede tako da se numerički integrijaju količine topline u pojedinim slojevima presjeka drveta, počev pri sloju neposredno ispod grijala. Za računanje količine topline služi kao osnova jednadžba:

$$Q = c \cdot m$$

gdje je:

- Q - količina topline u Ws,
- c - specifična toplota u Ws/°C kg,
- m - masa u kg,

$\Delta t_{sr}$  - srednja temperaturna razlika (zagrijanje) u °C.

Ako u dijagramu na slici 21 povučemo kod 5 min. ordinatu, dobit ćemo za pojedine slojeve presjeka drveta srednje temperature zagrijavanja time da očitamo srednje vrijednosti temperature između dvije krivulje i od toga odbijemo 20°C. Sve to unesemo u slijedeću tabelu.

| Sloj                                   | Debljina | Masa<br>1 m <sup>2</sup><br>sloja<br>kg | Srednja vri-<br>jednost tem-<br>perature raz-<br>like °C | Skumulirana<br>energija<br>kWs |
|--|----------|---|--|--------------------------------|
| mm                                     | mm       |   |  |                                |
| 0 ... 0,5                              | 0,5      | 0,4                                     | 88   | 84,5                           |
| 0,5 ... 1,0                            | 0,5      | 0,4                                     | 83   | 79,8                           |
| 1,0 ... 1,5                            | 0,5      | 0,4                                     | 79   | 76,0                           |
| 1,5 ... 2,0                            | 0,5      | 0,4                                     | 74   | 71,0                           |
| 2,0 ... 3,0                            | 1,0      | 0,8                                     | 68   | 130,8                          |
| 3,0 ... 4,0                            | 1,0      | 0,8                                     | 59   | 113,2                          |
| 4,0 ... 5,0                            | 1,0      | 0,8                                     | 51   | 98,0                           |
| 5,0 ... 7,0                            | 2,0      | 1,6                                     | 40   | 154,0                          |
| 7,0 ... 9,0                            | 2,0      | 1,6                                     | 27   | 104,0                          |
| 9,0 ... 11,0                           | 2,0      | 1,6                                     | 25   | 96,0                           |
| 11,0 ... 14,0                          | 3,0      | 2,4                                     | 10   | 58,0                           |
| + ocijenjeni ostatak za dublje slojeve |          |   |  | 34,7                           |
| s v e g a                              |          |   |  | 1 100 kWs                      |
|  |          |   |  | 0,3 kWh                        |

U jednom satu 1 m<sup>2</sup> grijaće površine potrošit će slijedeću energiju:

$$Q = 0,3 \cdot \frac{60}{8} = 2,25 \text{ kWh}$$

ako je uz pauzu od 3 minute ciklus trajao 8 minuta. Tome treba pri-  
brojiti još gubitke topline prema vani, koji obzirom na izolaciju  
mogu biti vrlo različiti (10 ... 30 % ili još više). Pretpostavljamo  
gubitke 20 %.

$$Q = 2,25 \cdot 1,20 = 2,7 \text{ kWh}$$

Specifična snaga grijala morala bi, dakle, iznositi 2700 W/m<sup>2</sup>, ako  
je grijalo stalno uključeno. Ako je pak uključeno 75 % vremena, njegova  
specifična snaga iznositi će

$$p = \frac{2,7}{0,75} = 3,6 \text{ kW/m}^2 = 3600 \text{ W/m}^2$$

Specifična snaga grijala malog toplinskog kapaciteta

Grijala ove vrste posjeduju najveću specifičnu snagu, što je i razumljivo ako pomislimo da svaki ciklus počinje na temperaturi okolice. U većini slučajeva ova se grijala sastoje jedino od čeličnih traka ili lima, bez ikakve toplinske ili električne izolacije.

Specifična snaga grijala malog toplinskog kapaciteta varira u granicama:

$$p = 3000 \dots 9000 \text{ W/m}^2$$

s iznimkom lamelnih grijala (slika 36) koja redovno posjeduju manju specifičnu snagu:

$$p = 1000 \dots 3000 \text{ W/m}^2$$

Lamelna grijala predaju korisnu toplinu s obje strane svoje grijaće plohe i zato su najekonomičnija.

Budući da je za pripremanje dijelova za lijepljenje potrebno mnogo vremena, a isto tako za samo lijepljenje i pražnjenje preše, vrijeme stvrdnjavanja može biti duže. Zato lamelna grijala imaju malu specifičnu snagu.

Grijala velike specifične snage moraju se redovno isklapati prije vremena, jer bi inače grijaće površine postigle previsoku temperaturu. Kao što smo vidjeli u prijašnjem poglavlju, bolji rezultati dobivaju se preklapanjem. Preklapanjem dvaju jednakih grijala iz paralelnog spoja u serijski dobiva se na jednom grijalu polovica napona i četvrtina snage, a preklapanjem triju jednakih paralelnih grijala u seriju dobiva pojedino grijalo jednu trećinu napona i jednu devetinu prvobitne snage.

Na slici 37 prikazan je spoj grijala i preklopki za preklapanje iz paralelnog spoja u serijski.

P r i m j e r . Na osnovu mjerenja napona i struje grijala vodoravne rubne preše koja se nalazi u pogonu u Tovarni pohišta u Novoj Gorici i koja je prikazana na slici 38, rekonstruirat ćemo specifične podatke. Grijaća traka je od čeličnog lima debljine 0,4 mm, širine 140 mm i dužine 2700 mm. U pogonu grijalo troši 400 A pri naponu 6,5 V.



Slika 36.- Preša s lamelnim grijalima.

Specifična snaga grijala iznosi:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{2600}{0,38} = 6850 \text{ W/m}^2$$

ako je

$$P = U \cdot I = 6,5 \cdot 400 = 2400 \text{ W}$$

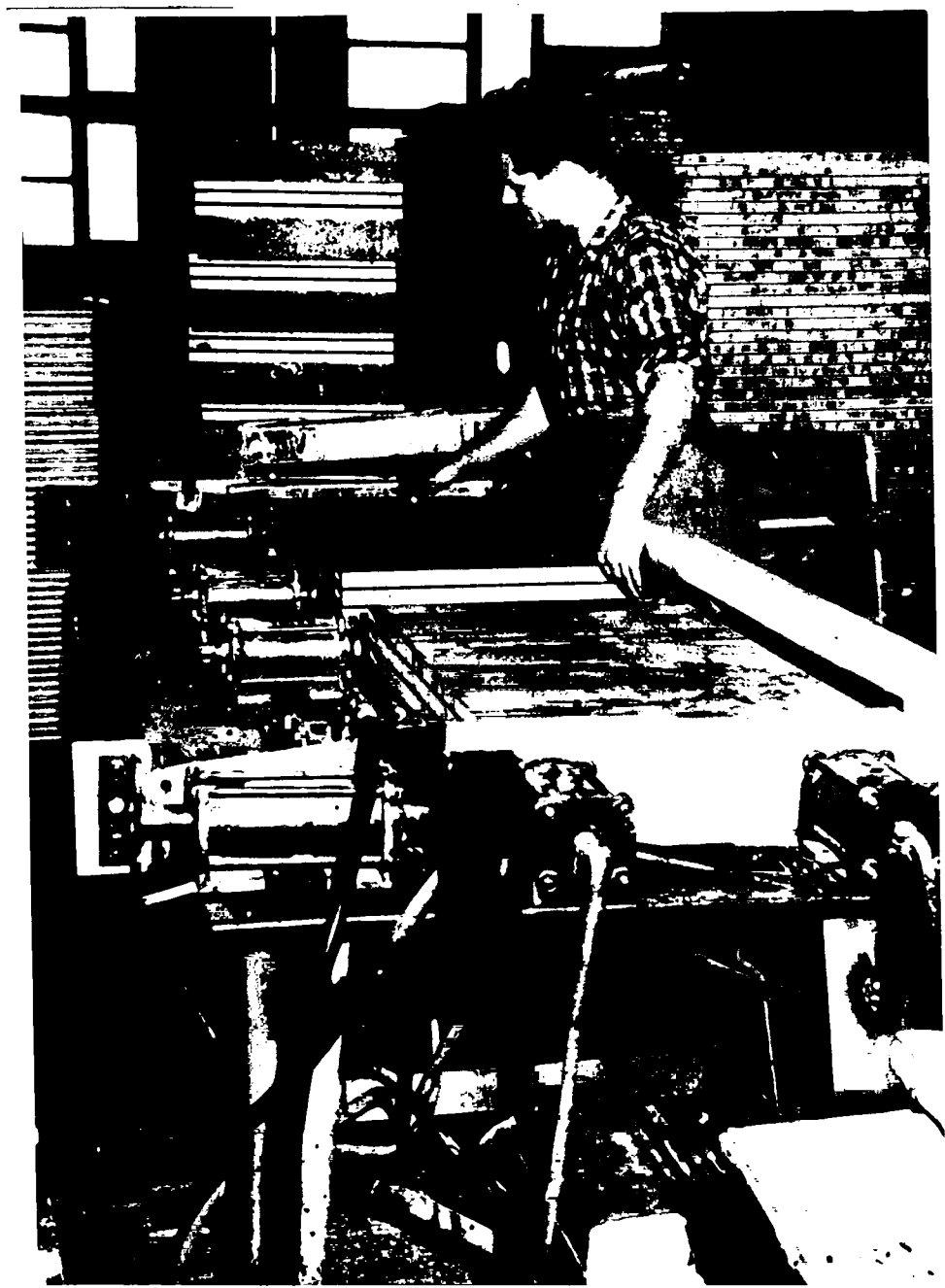
$$S = 2,7 \cdot 0,140 = 0,38 \text{ m}^2$$

Prema tome, specifična snaga grijala podesno je visoka.

V a ž n o u p u t s t v o . Pri mjerenju napona i struja treba stalno paziti da se sve vrijednosti očitaju skoro istovremeno. Naime, otpor grijala se s temperaturom uvelike mijenja, naročito onih od željeza, zato se takodjer naponi i struje neprestano mijenjaju. Vrijednosti koje se navode vrijede za pogonsku temperaturu.

Teško je mjeriti kada se ima posla s grijalima velike specifične snage, jer su brzine porasta temperature velike. Ako posjedujemo uređaj s više grijala, mjerenja su još teža. Ako raspolažemo sa samo jednim instrumentom za mjerenje napona, dobro je da se ispred instrumenta montira preklopka, no još bolje je da se priključi više instrumenata, jer se istovremeno može očitati više vrijednosti. U suprotnom slučaju mogle bi se pojaviti velike mjerne pogreške.

Struja se obično mjeri instrumentima s obuhvatnim transformatorom koji omogućuju brzo mjerenje a da ne treba prekidati glavni strujni krug (v.sliku 41!). Uz to ti instrumenti imaju velike mjerne opsege.

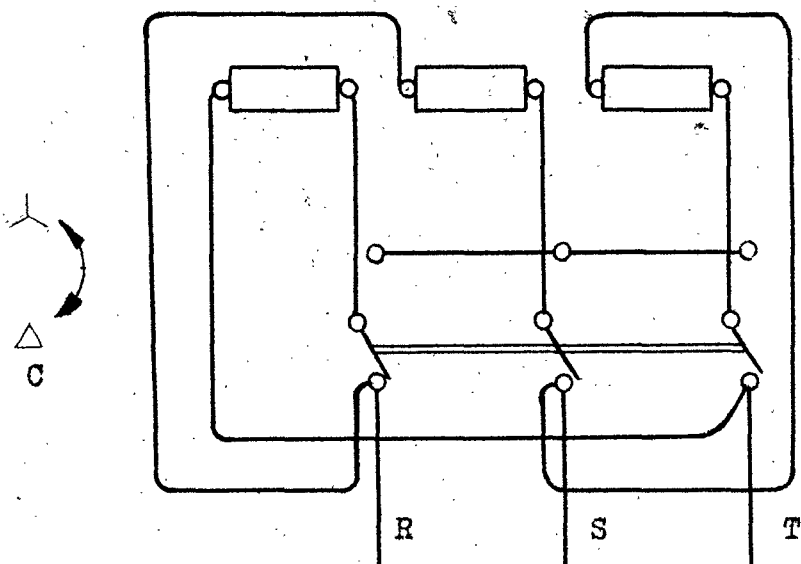
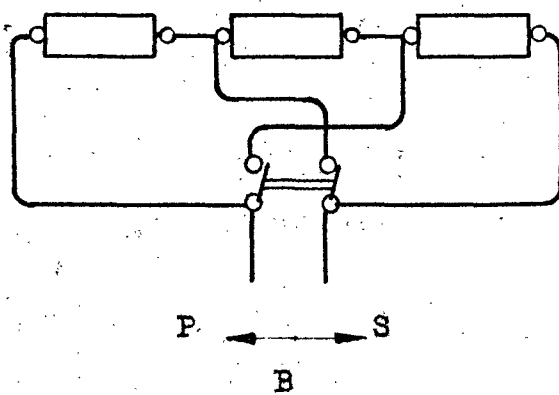
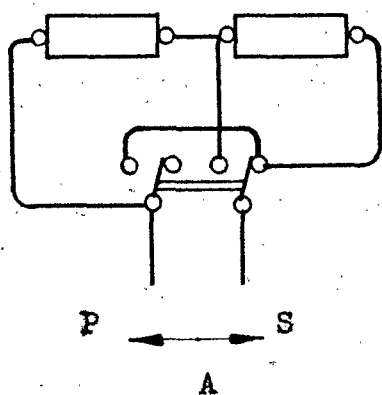


Slika 38.- Horizontalna rubna preša s pneumatskim cilindrima

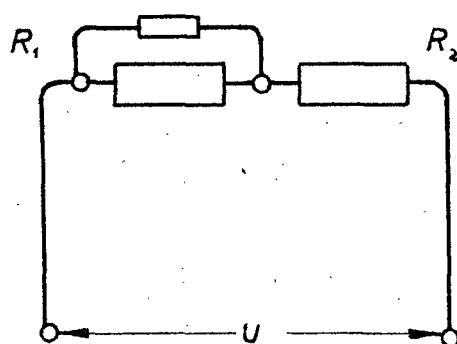
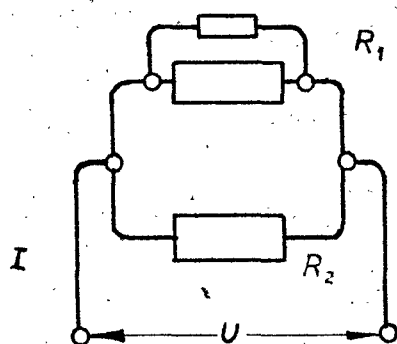
3.3 Specifična snaga grijala srednjeg toplinskog kapaciteta

Specifična snaga ovih grijala varira između

$$p = 1200 \dots 4500 \text{ W/m}^2$$



Slika 37. Pri preklapanju grijala iz paralelnog u serijski spoj se snaga a) na jednu četvrtinu, b) na jednu devetinu, c) pri preklapanju pak iz trokuta u zvijezdu snaga se smanji na jednu trećinu



$R_1 < R_2$     Slika 39. Situacija ed-     $R_1 < R_2$   
 $P_1 > P_2$     nosa snage pri paralel-     $P_1 < P_2$   
 nem i serijskom spoju  
 dva ju nejednakih grijala ili skupina grijala:  $R_1$  - krajna  
 grijala,  $R_2$  - unutrašnja grijala



Preporučuje se specifična snaga oko  $2500 \text{ W/m}^2$  i više.

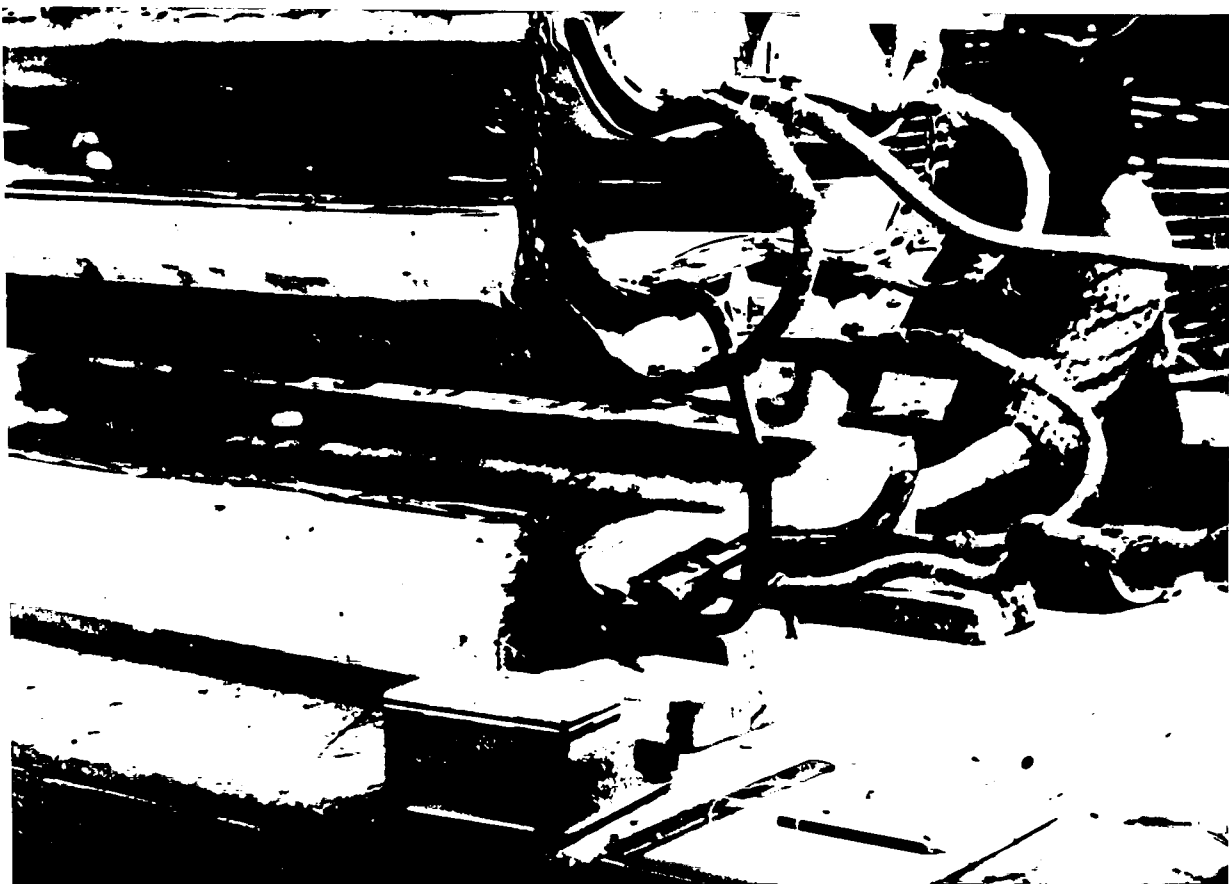
Kao što smo već spomenuli, ova grijala ne mogu se obuhvatiti računom te se jedino na osnovu mjerenja temperature može utvrditi vrijeme zagrijavanja. Nije poznat ni onaj dio topline koji odlazi u kalup te se potom u pauzi vraća i preko grijaćih ploha odlazi u obliku gubitaka u okolicu. Temperatura, dakle, na pojedinim mjestima presjeka drveta ne ovisi samo o specifičnoj snazi grijala i o vremenu zagrijavanja, nego takodjer o vremenu trajanja pauza između pojedinih zagrijavanja. Zato t e m p e r a t u r e koje će biti temelj za utvrđivanje vremena stvrdnjavanja ljepila treba mjeriti tek p o š t o s e j e t e m p e r a t u r a u r e d j a j a s t a c i o n i r a l a poslije dužeg pogona s istim ili sličnim režimom.

Ako se grijala (kalupi) nalaze u preši u više etaža, temperatura krajnjih grijala biti će znatno niža, jer se grijala bolje ohladjuju prema vani nego prema unutra. Ta nejednolikost se eliminira ili uzima u obzir na ovaj način:

- (1) krajnjim grijalima se propiše veća specifična snaga (20 ... 30%, u ovisnosti o toplinskoj izolaciji kalupa),
- (2) vrijeme zagrijavanja koje je potrebno za 100%-no stvrdnjavanje određuje se obzirom na vanjska grijala i pri tome se pazi da temperatura unutrašnjih grijala previše ne poraste. Ako se o tome vodi računa, mogli bi proizvesti kada se izvade iz preše donekle promijeniti svoj oblik.

Uz primjenu istog grijaćeg materijala mogu se postići relativno veće specifične snage krajnjih grijala povećavanjem ili smanjivanjem omaskog otpora tih grijala. To ovisi o spoju grijala. Ako su grijala spojena u seriji, otpor krajnjih grijala treba povećati da bi se uz istu grijaću površinu dobila veća specifična snaga. U slučaju paralelnog

spoja grijala stvar je baš suprotna, jer omski otpor krajnjih grijala treba obzirom na druga grijala smanjiti (na primjer dodatnim paralelnim otpornikom) da bi se dobila veća specifična snaga (v.sliku 39!). Često se specifična snaga grijala na rubovima grijaćih ploča gdje je hladjenje veće želi povećati time da se tamo postavi dodatno još jedna grijaća traka, koja jednostavno leži iznad prve te se sa glavnom trakom spoji paralelno. Kod raznih vrsta grijala različite su mjere koje treba preduzeti u svrhu povećanja specifične snage grijala izloženih u većoj mjeri ohladjivanju te ćemo ih opisivati pri opisu pojedinih vrsta grijala.



Sl. 40.- Otvorena preša za izradbu valovitih vrata za ormare u Tovarni pohištva u Novoj Gorici.

Ako imamo posla s uredjajima sa serijskim granama grijala nejednake snage, moramo biti naročito oprezni pri preklapanju tih grijala ili grana iz paralelnog u serijski spoj. Pri tome se naime omjer snage mijenja. Krajnja grijala koja su u paralelnom spòju imala veću snagu. poslije preklapanja u serijski spoj imaju relativno manju snagu. P r i m j e r . Slike 40 i 41 prikazuju otvorenu i zatvorenu prešu za lijepljenje valovitih vrata za ormare. Preša ima 5,5 m<sup>2</sup> grijaćih površina a snaga grijala iznosi 7,7 kW, te je prema tome prosječna specifična snaga 1400 W/m<sup>2</sup>. Konstrukcija ispoljuje sve karakteristike preša sa grijalima srednjeg toplinskog kapaciteta i male specifične snage.

Na slici 41 vide se također spojevi za električno mjerenje temperature pomoću termoelemenata. Na čepu širokog grla termos-boce pričvršćena je preklopka koja omogućuje brzo preklapanje mjernih mjesta. Instrumenat u drvenoj kutiji je pokazni instrumenat sa zakretnim svitkom čija je skala označena u °C. Desno od njega nalazi se ampermetar sa obuhvatnim transformatorom.

Radi ilustracije navodimo ovdje nekoliko mjernih rezultata koji smo dobili mjerenjem na toj preši. Počev od gore nadolje, grijala smo označili rednim brojevima 1,2,3,4.

Pri mjerenju temperature na površini grijala dobili smo slijedeće rezultate:

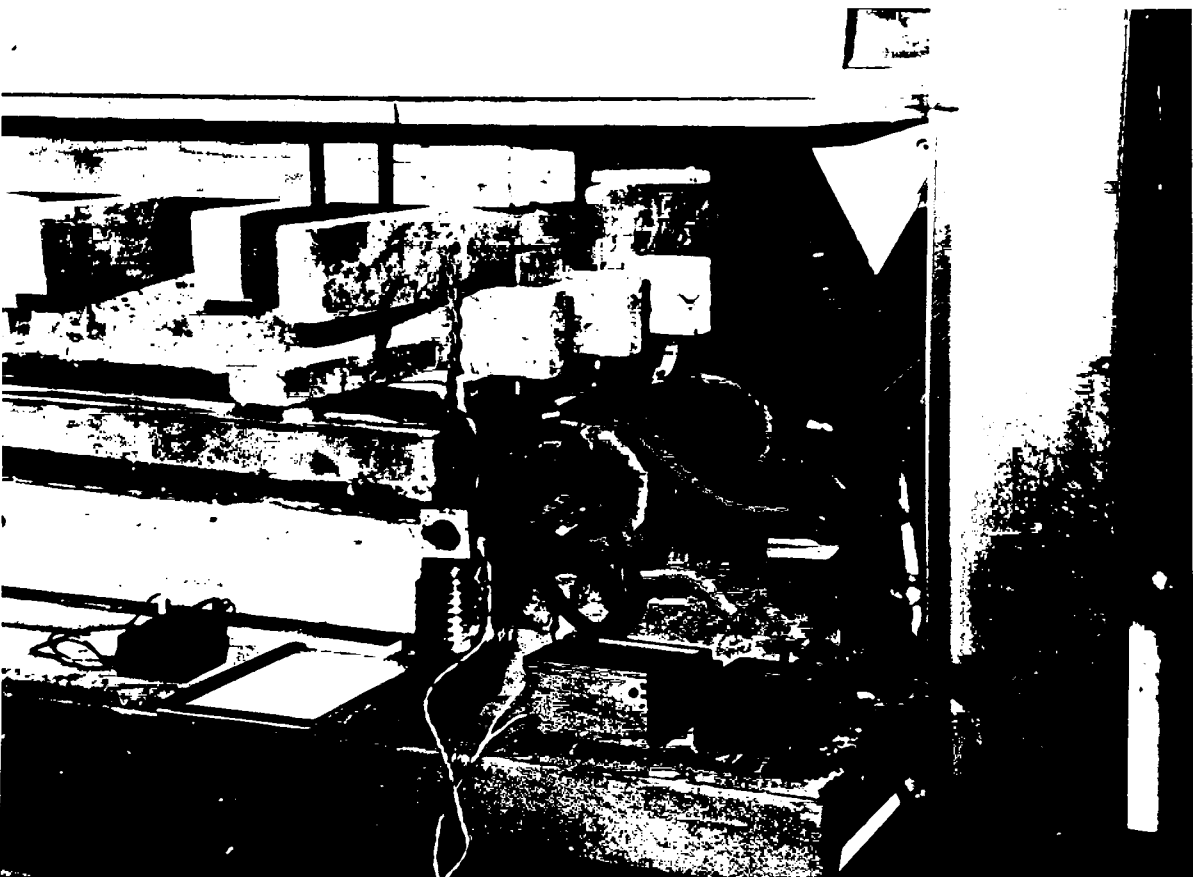
| Vrijeme    | Temperatura (°C) |           |           |           |
|------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
|            | Grijalo 1        | Grijalo 2 | Grijalo 3 | Grijalo 4 |
| 0 (uklap.) | 58,0             | 66,0      | 64,0      | 65,5      |
| 5 min.     | 75,0             | 91,0      | 79,5      | 76,5      |
| 10 min.    | 84,0             | 104,5     | 95,5      | 93,0      |
| 13 min.    | 98,0             | 114,0     | 104,0     | 99,5      |

Najnižu konačnu temperaturu ima gornje grijalo (br.1), jer ima najveće gubitke prema vani. To pokazuje također početna temperatura 58°C. Zagrijavanje iznosi kod gornjeg grijala 98-58 = 40°C, a kod grijala br. 2 iznosi 114 - 66 = 48°C, odakle se može zaključiti da grijalo br.2 ima također veću specifičnu snagu. Prilikom mjerenja specifične snage zbilja se je pokazalo da grijalo br. 1 ima 1170 W/m<sup>2</sup> a grijalo br. 2. 1620 W/m<sup>2</sup>.

Naznačen je dakle način izjednačivanja temperatura: grijalo br. 1 mo-

ra dobiti specifičnu snagu veću od one grijala br. 2. Dobro bi bilo takodjer povećati toplinsku izolaciju grijala br.1, ako se to može izvesti. Vrijeme 100%-nog stvrdnjavanja treba utvrditi obzirom na najhladnije grijalo.

V a ž n a p r e p o r u k a . Ako su pauze za vrijeme kojih je preša otvorena duge, preporučljivo je da se ona zatvori prazna. Time se postizava: prvo, gubici zbog hladnjenja su manji, i drugo, temperatura grijala izjednači se tako da je barem početna temperatura jednaka.



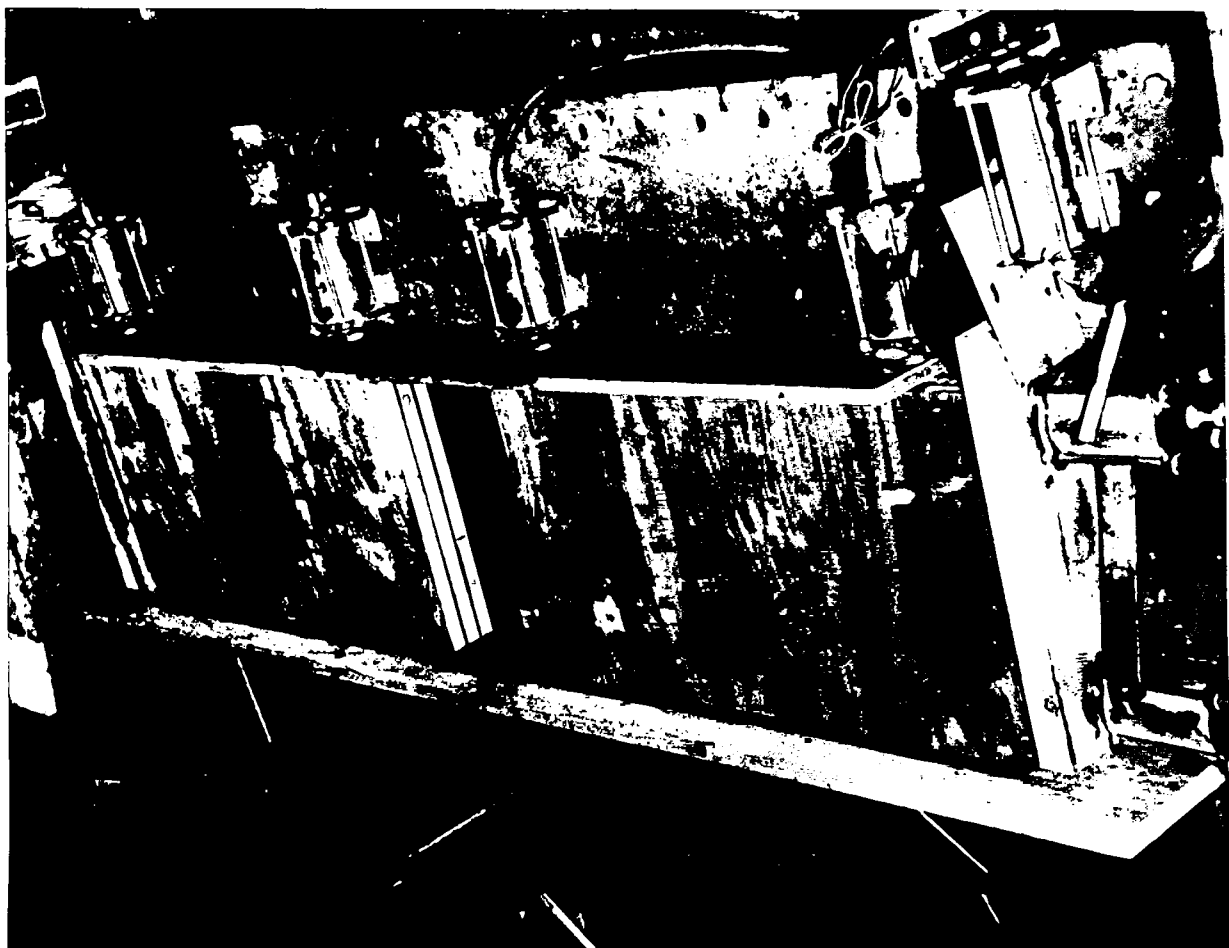
Slika 41. - Zatvorena preša za lijepljenje valovitih vrata za ormare. Mjerenje temperature i struje grijala.

## POKUSI S PRIMJENOM RAZNIH VRSTA GRIJALA

### .1 K o n s t r u k c i j a i i z r a d b a g r i j a l a

#### .1.1 Gola plosnata grijala (trakasta grijala)

Gola plosnata grijala uspješno se upotrebljavaju naročito za lijep-  
ljenje rubova i svugdje tamo gdje površine nisu prevelike, ukratko,  
tamo gdje grijaće površine treba da imaju oblik traka. Ova grijala su  
redovno velike specifične snage, jer se zbog malog toplinskog kapaci-  
teta za vrijeme pauze ohlade i svaki ciklus počinja u hladnom stanju.  
Ostale smjernice za gradnju tih grijala navesti ćemo uz primjere iz-  
vedbi.

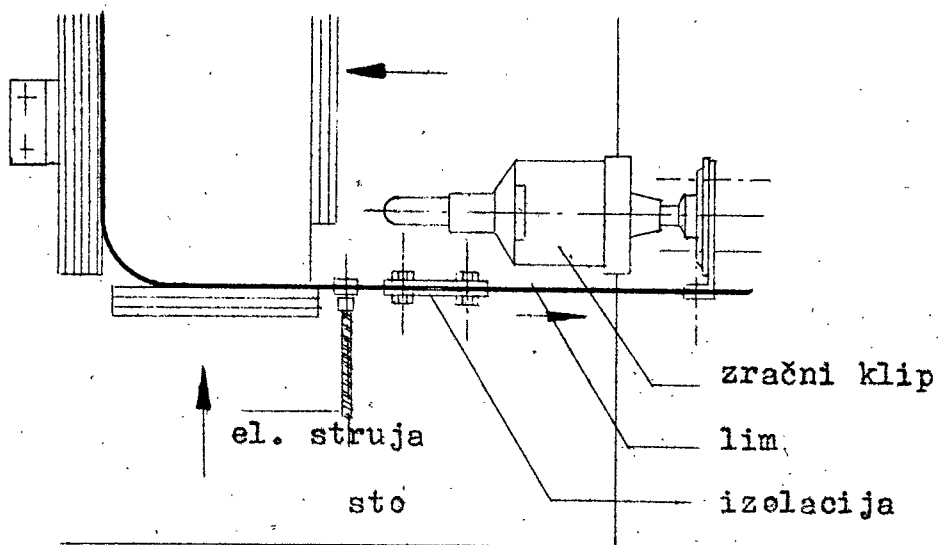


Sl. 42.- Horizontalna rubna preša s pneumatskim cilindrima.

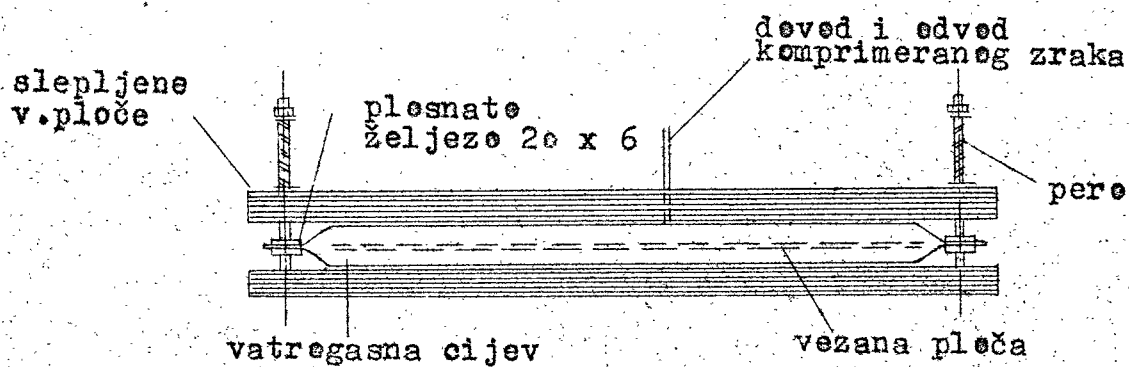
Slike 38 i 42 prikazuju horizontalnu prešu iz Tovarne pohištva u Novoj Gorici. Ona je priredjena za furniranje rubova i oblina istovremeno na šest komada. Grijaća traka s kojom se za sada radi i koja se lijepo vidi na obje slike od čeličnog je glatkog lima debljine 0,4 mm, širine 140 mm i dužine 2700 mm. Električni podaci, mjereni otprilike u sredini vremena zagrijavanja, su:  $U = 6,5 \text{ V}$ ,  $I = 400 \text{ A}$ . Odatle zaključujemo da snaga grijala iznosi  $P = 2600 \text{ W}$  i specifična snaga  $p = 6850 \text{ W/m}^2$ . Specifični otpor čeličnog lima iznosio je u istom trenutku  $\rho = 0,34 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  i površinski otpor  $r = 0,9 \text{ m } \Omega$  na jedinicu površine (v.nomogram!).

Čelični glatki lim najpodesniji je materijal za grijaće trake (osim skupljih slitina, kao što su kromikalj, kanthal itd.) kod preša ove vrste, jer posjeduje razmjerno velik površinski otpor i veliku mehaničku čvrstoću. Zbog oblina trake moraju biti napete i moraju izdržati znatne sile. Na slici se dobro vide takodjer cilindri za pneumatsko zatezanje traka. Aluminijske folije ne bi bile podesne u tu svrhu, jer posjeduju premalen površinski otpor kod debljine trake koja odgovara velikoj zatesnoj sili. Podesne bi bile takodjer trake od transformatorskog lima, jer posjeduju još veći specifični otpor, no one se ne mogu dobiti u takvim dužinama. Dimenzije transformatorskog lima iznose 750 . 1500 mm, a njegova debljina 0,35 i 0,50 mm. U nas se takav lim proizvodi u Železari Jesenice, a pojedini komadi mogu se nabaviti kod proizvođača transformatora ("Jambor"-Črnuče itd.). Transformatorski lim nešto je hrapaviji i krhkiji od čeličnog lima. Na obje slike dobro se vide takodjer kontakti za dovod struje grijaćoj traci. Oni su izradjeni od debelih mjedenih ploča između kojih je jakim vijcima stisnuta grijaća traka. Dovodi su izvedeni gipkim kablom za zavarivanje.

Tamo gdje su krajevi grijaće trake pričvršćeni na cilindar za zatezanje, zatezna sila prenosi se preko izolacione ploče, kako se struja ne bi mogla zatvoriti preko cilindra i železne konstrukcije mreže.



Slika 43. Zatezanje grijaće trake



Slika 46. Sprava za prešanje na zračni mijeh

Katkad se izolacioni komad umetne neposredno iza priključka (slika 43).

Zbog visoke vrijednosti (temperaturni koeficijent otpora), primjena željeznog ili čeličnog lima za grijaće trake do neke mjere je čak i poželjna. Kada se traka ugrije, električna snaga se zbog povećanog otpora smanji otprilike za 40 %. Doduše, to još nije dostatno te se grijalo mora negdje između četvrte i pete minute isklopiti ili pak preklopiti na još manju snagu.

S električnog vidika je opisana konstrukcija vrlo uspješna, a s mehaničkog vidika moglo bi se primijetiti da neki predlažu da se između grijaće trake i podloge umetne još traka od gume ili pusti, kako bi se što je moguće bolje raspodijelio pritisak grijala na furnir.

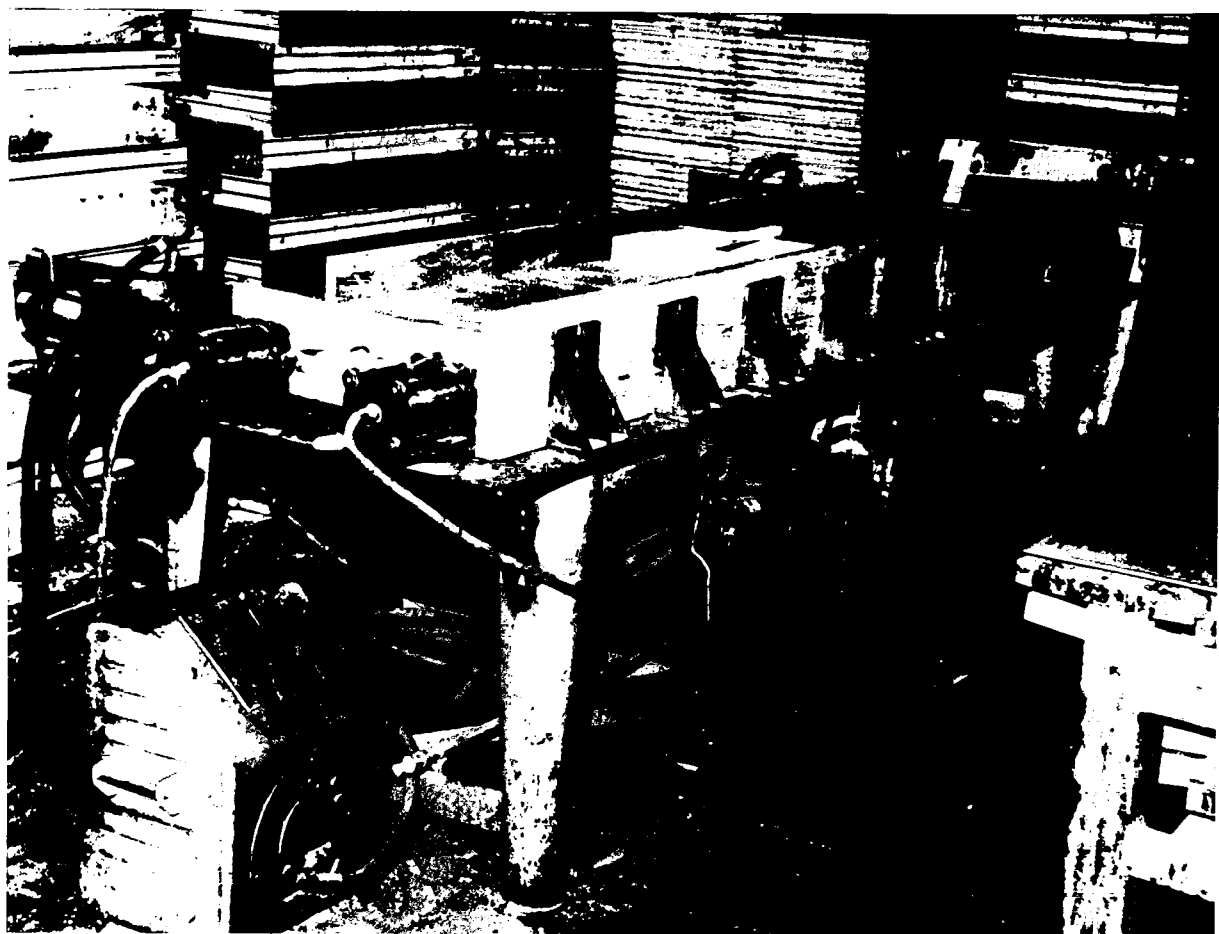
Na slikama 38 i 42, a isto tako i na slijedećoj slici 44 sasvim lijepo se vidi željezna konstrukcija stola čije su dimenzije noseće ploče 2800 . 1300 mm. Debljina noseće ploče iznosi 16 mm i po cijeloj njenoj površini provrtane su rupe, kako bi se mogli po volji premještati cilindri za prešanje prema zahtjevima predmeta.

Kompresijski cilindri imaju promjer 80...120 mm i hod do 200 mm. Vrsta i broj cilindara te njihovo namještanje priređuju se tako da se dobije protisak otprilike 3...4 kg/cm<sup>2</sup> površine koja se lijepi.

Na slici 44 dobro se vide željezni nastavci koji izvode protupritisak pneumatskim cilindrima. Posluživanje zračnih ventila je možno, vidi se također transformator s preklopkom.

Slika 45 prikazuje drugu rubnu prešu, koja se isto tako nalazi u Tovarni pohištva u Novoj Gorici. Kao grijalo upotrebljava se gola traka od željeznog lima, debljine 0,5 mm, širine 175 mm i dužine 2110 mm. Kod napona 6,2 V kroz grijalo teče struja 230 A. Snaga koja se troši na grijalu iznosi  $230 \cdot 6,2 = 1430 \text{ W}$ , a specifična snaga  $1430 : (0,175 \cdot 2,11) = 3860 \text{ W/m}^2$ .

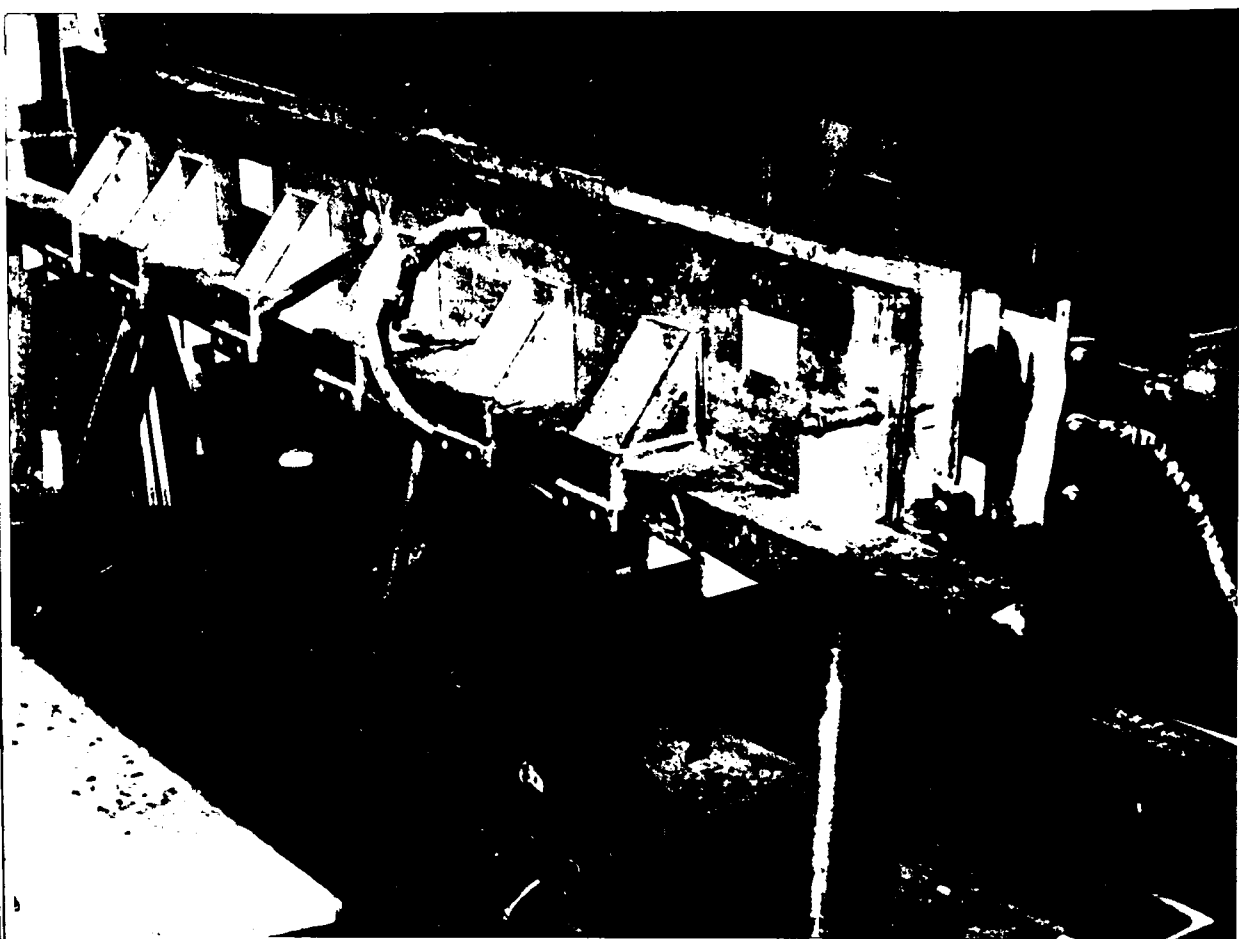




Slika 44. - Horizontalna rubna preša s pneumatskim cilindrima i nožnim posluživanjem ventila.

Prešu opskrbljuje električnom energijom jednostavno transformator kakav se upotrebljava za otkravljivanje smrznutih vodovodnih instalacija (v.sliku 45!)

Na slici se zapaža jedna posebnost: element za stvaranje pritiska ovdje nije više pneumatski cilindar s klipom, nego jednostavna platnena vatrogasna cijev koja je iznutra prevučena gumom. Ovaj način je znatno jeftiniji od izvedbe s klipom, a i pritisak se vrlo jednolike raspodjeli po cijeloj površini. Sama cijev zauzima vrlo malo mjesta. Jedina loša strana je da je kod cijevi hod vrlo malen (otprilike jedna polovica promjera cijevi) i da se sila kojom cijev pritiskuje s hodom smanjuje.



Slika 45.- Horizontalna rubna preša s vatrogasnom cijevi kao elementom za stvaranje pritiska.

Cijev je na krajevima stisnuta pločastim podloškama s vijcima, a u samu cijev ugura se kraća traka od vezane ploče debljine otprilike 7 mm i širine promjera cijevi, kako se cijev ne bi uvertala. Na slici 46 prikazana je izvedba uređaja za prešanje pomoću zračnih mjehova.

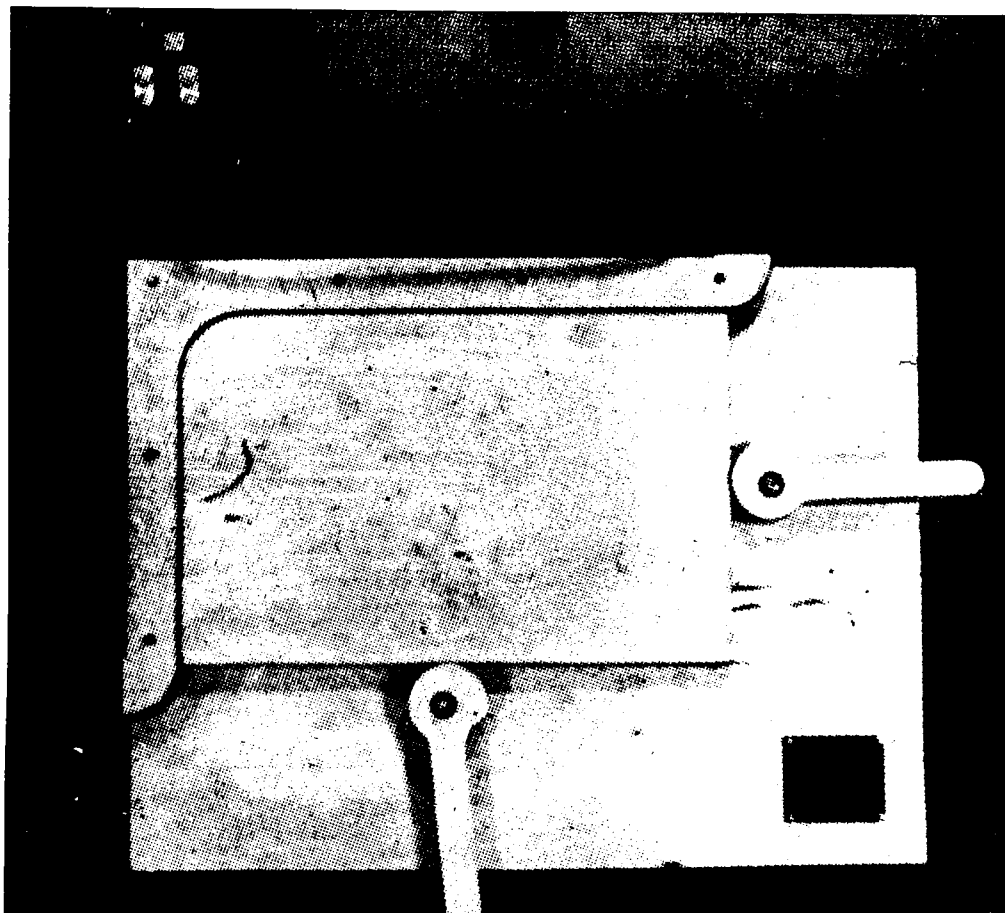
Na slici 47 prikazana je vrlo jednostavna preša na ekscentar za lijepljenje rubova. Za takve male naprave dostaje već i transformator za tvrdo lemljenje trakastih pila; on se upotrebljava kao izvor energije.

Na slici 48 vidi se stol za furniranje rubova okruglih stolova. Kao grijalo uzima se prilično moćna čelična traka, kako bi izdržala velike zatezne sile. Odnos između pritiska u atmosferama koji se očekuje na obodu i zatezne sile (u kp) u čeličnoj traci određen je jednadžbom:

$$F = \frac{p \cdot D \cdot \delta}{2}$$

gdje je:

- F - zatezna sila trake u kp,
- p - pritisak na obodu u kp/cm<sup>2</sup>,
- D - promjer kruga u cm,
- δ - širina trake, koja je jednaka širini ruba (u cm).

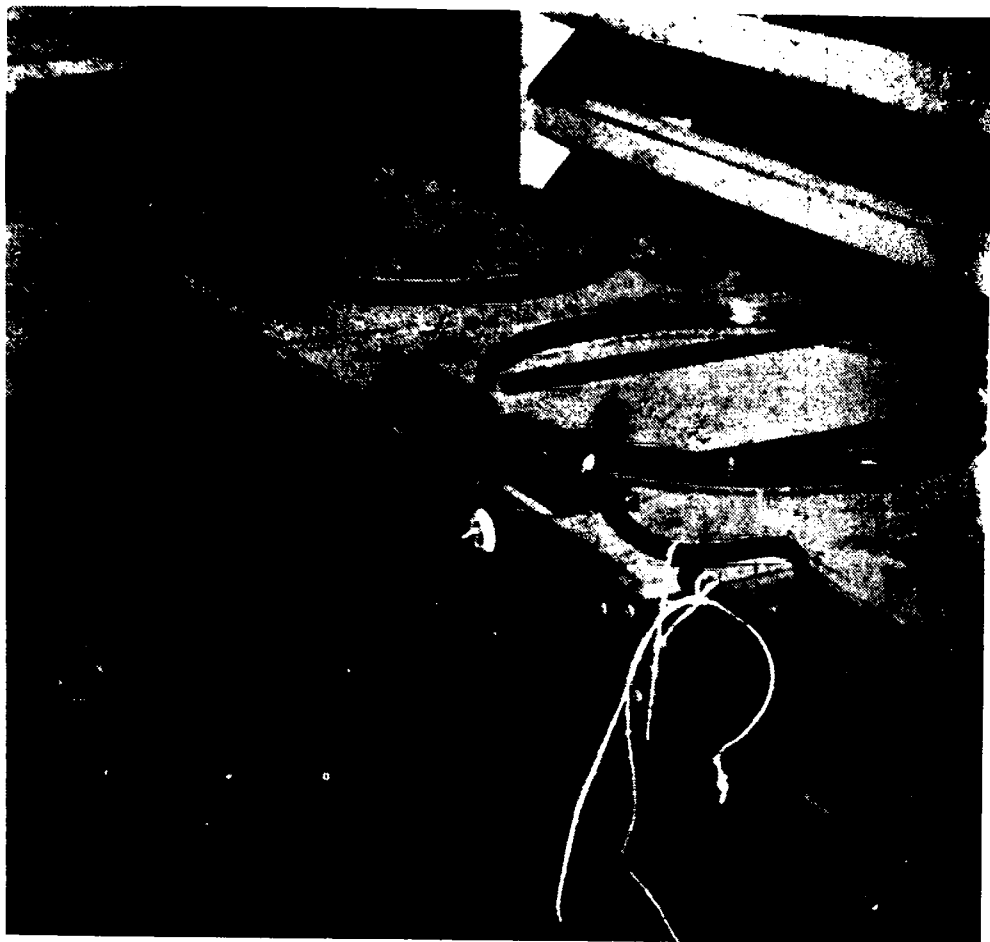


Slika 47.- Horizontalna preša za lijepljenje rubova na ekscentar.

Potreba sila se postizava, kao što se vidi na slici 48, malom ručnom hidrauličnom pumpom. Ali bolje je da se tu primijeni pneumatsko stiskanje, jer se grijača traka sa zagrijavanjem donekle rasteže te pneumatski klip bolje slijedi ta rastezanja od hidrauličkog, a da se pri tome zatezna sila ne smanjuje.

Oba kraja trake ne smiju se medju sobom dodirivati, jer bi inače moglo doći do kratkog spoja. Budući da tamo nema zagrijavanja, ni ljepilo se

neće stvrdnuti. Zato prilikom ulaganja treba paziti da se stična mjesta furnira nalaze na zagrijavanom mjestu. Na ono malo mjesta gdje se ljepilo neće stvrdnuti neće nastati nikakva šteta, jer će se tamo ljepilo stvrdnuti poslije.



Sl. 48.- Furniranje okruglih rubova za ploče stolova. Pritisak se postizava ručnom hidrauličkom pumpom.

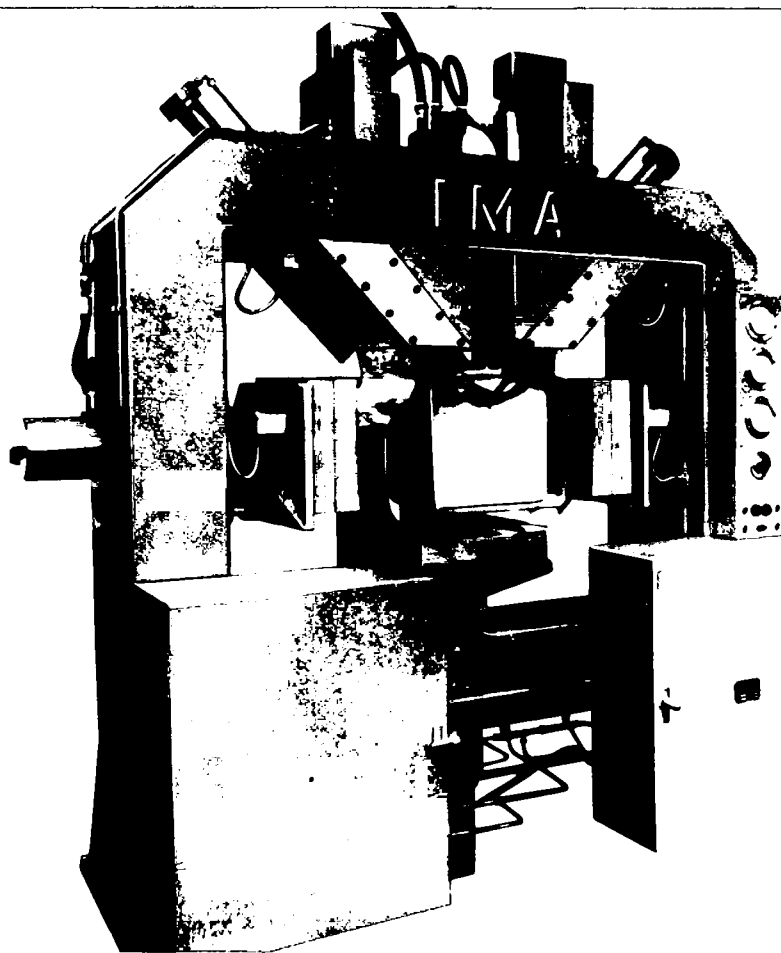
Na slici 36 prikazana je solidno izgradjena preša s lamelnim grijalima. Budući da ne raspolažemo padacima za grijala, zbog zanimljivosti rekonstruirat ćemo ih jednostavno s fotografije pomoću našeg univerzalnog nomograma (slika 3). Grijala ima jedanaest, njihova dužina je otprilike 1,1 m, a širina trake iznosi približno 8 cm. Materijal pogodan za ovu

vrstu grijala bio bi glatko valjan čelik debljine  $d = 0,5 \text{ mm}$ . Ako specifični otpor tog čelika iznosi  $\rho = 0,3 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ , pomoću nomograma (skala 7, 6, 5) dobije se površinski otpor  $r = 0,6 \text{ m} \Omega / \text{jedinicu površine}$ . Kod specifičnog opterećenja  $4000 \text{ W/m}^2$ , na skalama 3 i 4 dobije se napon na jedinicu dužine grijala  $U/d = 1,55 \text{ V/m}$  i struja na jedinicu dužine grijala  $I/\text{š} = 2500 \text{ A/m}$ . Napon na svim grijalima koja su spojena u seriju iznosi  $U = 12 \text{ m} \cdot 1,55 \text{ V/m} = 18,6 \text{ V}$  i struja koja teče kroz grijala  $I = 2500 \cdot 0,08 = 200 \text{ A}$ . Snaga je, dakle,  $P = 18,6 \cdot 200 = 3720 \text{ W}$ .

Želimo li da preša djeluje brže, treba povećati jedino napon na primjer na  $24 \text{ V}$ . U tom slučaju iznosila bi snaga  $P = 6150 \text{ W}$  kod struje  $250 \text{ A}$  i specifične snage  $6000 \text{ W/m}^2$ . Razumije se da tada ne bi mogao samo jedan radnik obaviti sav posao na preši.

Upozoravamo na izvanredno zanimljivo rješenje pričvršćenja u seriju spojenih lamelnih grijala pomoću pera i pomičnih obujmica koje obuhvataju dvostruki T-profil (slika 36).

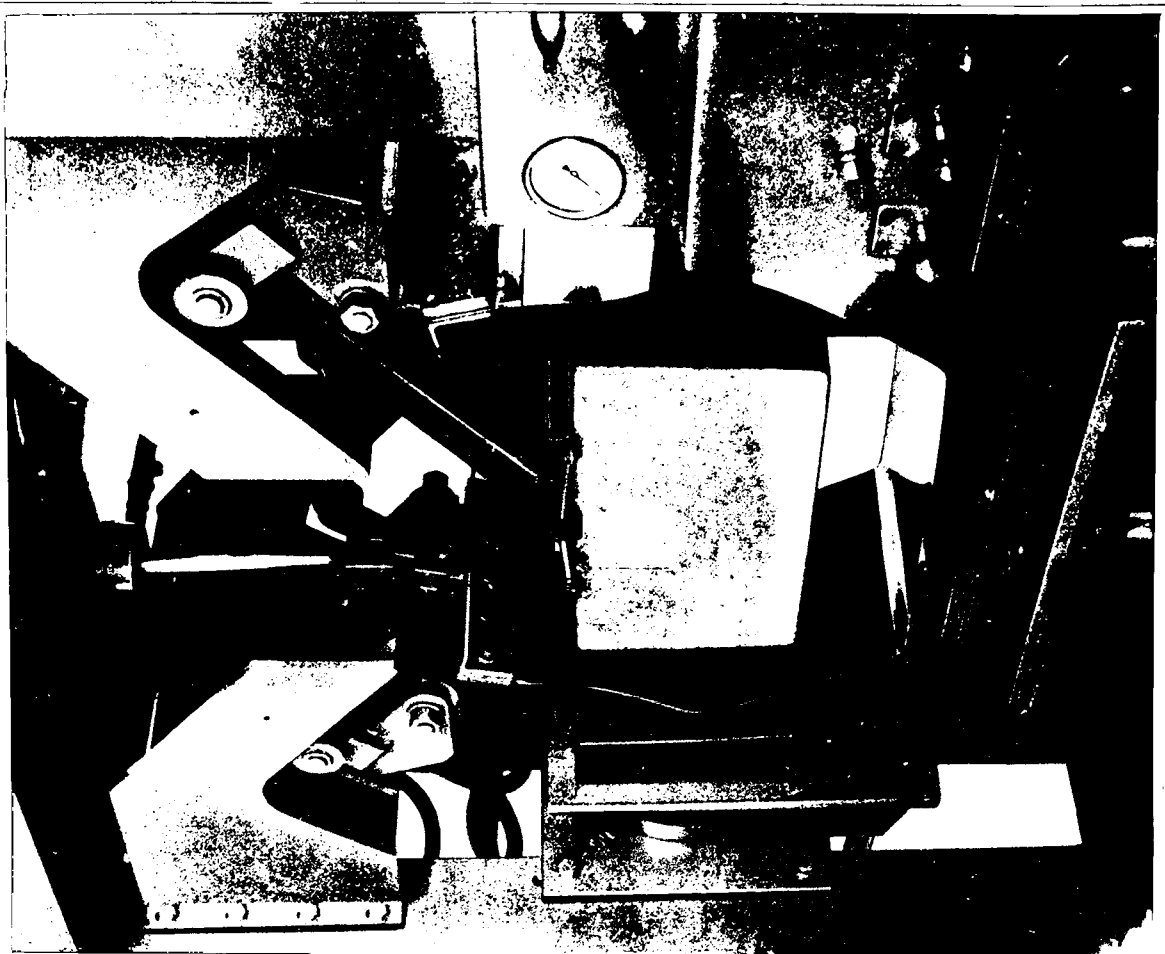
Na slici 49 prikazana je preša za izradbu kutija za radio i televizijske aparate, Budući da se cio obod takve kutije izradjuje u jednom postupku, moraju se zagrijavati unutrašnja i vanjska površina. Izradba unutrašnjeg grijala ne pričinjava teškoće. Ono se izradjuje od meandrično izrezanog lima prevučenog odgovarajućom izolacijom. Kao izolacija može se upotrebljavati impregnirani prešpan ili pak specijalna folija (teflon) koja podnosi temperaturu  $300^\circ\text{C}$ . Do danas je teflon najbolja električna izolacija za više temperature. Čak kod  $300^\circ\text{C}$  on posjeduje mehaničke i električne osobine kao, na primjer, polovinil kod sobne temperature. Loša mu je pak strana visoka cijena (oko  $30.000 \text{ Din/kg}$ ). Najbliži proizvođač tog materiala je Süddeutsche Asbest- und Packungsfabrik K.G., W. E. Huth, Percha bei Starnberg u Zapadnoj Njemačkoj. Teflon bi se mogao zamijeniti takodjer staklo-tekstilom koji podnosi temperaturu do  $400^\circ\text{C}$ .



Slika 49.- Električno zagrijavana preša za izradbu radio i televizij-  
skih kutija.

Veći problem je izradba vanjskog grijala koje mora biti od samo jednog ko-  
mada debelog i moćnog čeličnog lima. Debljina ovog čeličnog lima iznosi  
obično 1 mm, a širina se ravna prema dubini kutije te postizava takodjer  
60 cm i više. Pomoću našeg univerzalnog nomograma nije teško odrediti e-  
lektrične podatke. Za širinu traka oko 60 cm dobiva se jakost struje otpri-  
like 2500 A. Za takve struje, međjutim, već je problem izvedba kontakta  
koji bi osigurali jednoliku raspodjelu struja po grijaćem limu. Kontakte

ćemo obradljivati u odsjeku 4.1.4.



Slika 50.- Detalj električno zagrijavane preše za radio i televizijske kutije.

Na slici 51 prikazano je kako izgleda u zemlji izradjeni uređaj za izradbu kutija za radio aparate. Električno se zagrijava samo unutrašnji kalup i zato je, razumije se, vrijeme zagrijavanja duže.

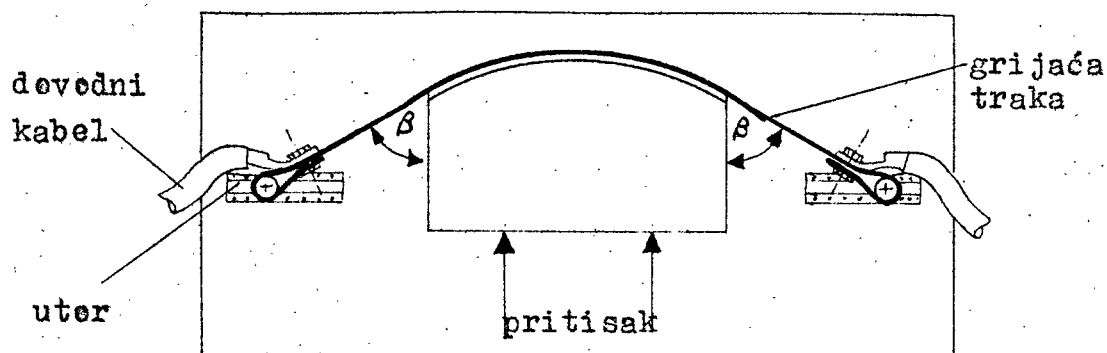
Na slici 52 prikazana je preša za furniranje rubova na kutijama za radio aparate. Električno se zagrijava jedino donja ploča, a pritisak se postizava pneumatskim cilindrima.



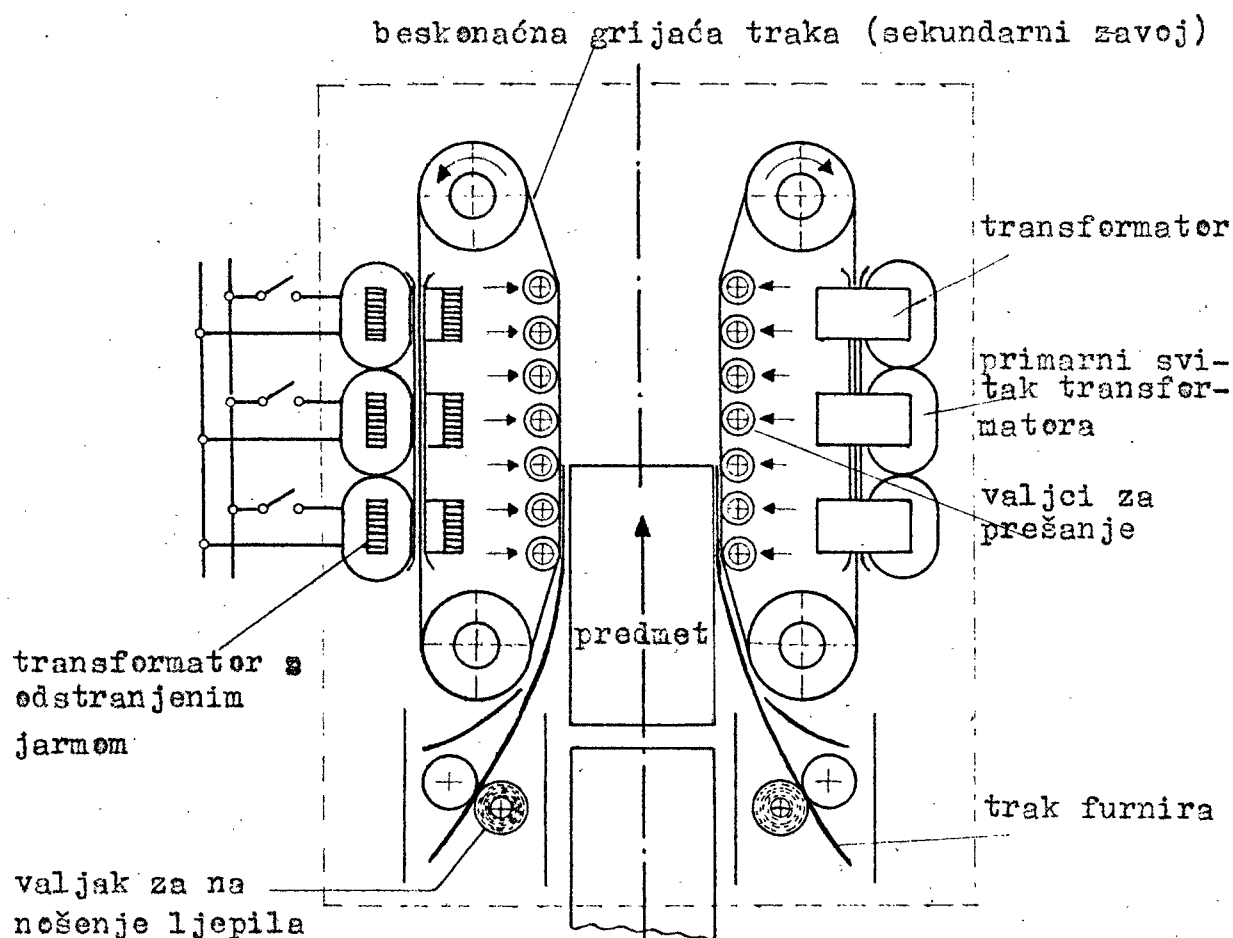
Slika 51. - Električno zagrijavana radna mjesta za izradbu kutija za radio aparate.

Kod furniranja malih savinutih površina, kao što su savinuti nasloni za sjedalice i sl., gdje se zbog malog broja komada ne isplati izradjivati modele, dobro dolazi uređaj prikazan na slici 53. Celična traka debljine 1...1,5 mm koja je pričvršćena na svornike mora prolaziti tako da krivulju ostavlja u tangenti. To se može postići pomicanjem svornika po utoru. Ako bi kut  $\beta$  bio veći od onoga što ga stvara tangenta, na rubovima ne bi bilo pritiska, a ako bi on bio znatno manji, rubovi bi bili stlačeni. Najpovoljnije je da je kut  $\beta$  za nekoliko kutnih stupnjeva manji od kuta tangente.





Slika 53. Uredjaj za lijepljenje malih krivih ploha koji ne traži posebne kalupe i može se prilagoditi za razne krivine



Slika 55. Shema stroja za automatsko furniranje rubova pomoću indukcionih grijućih traka



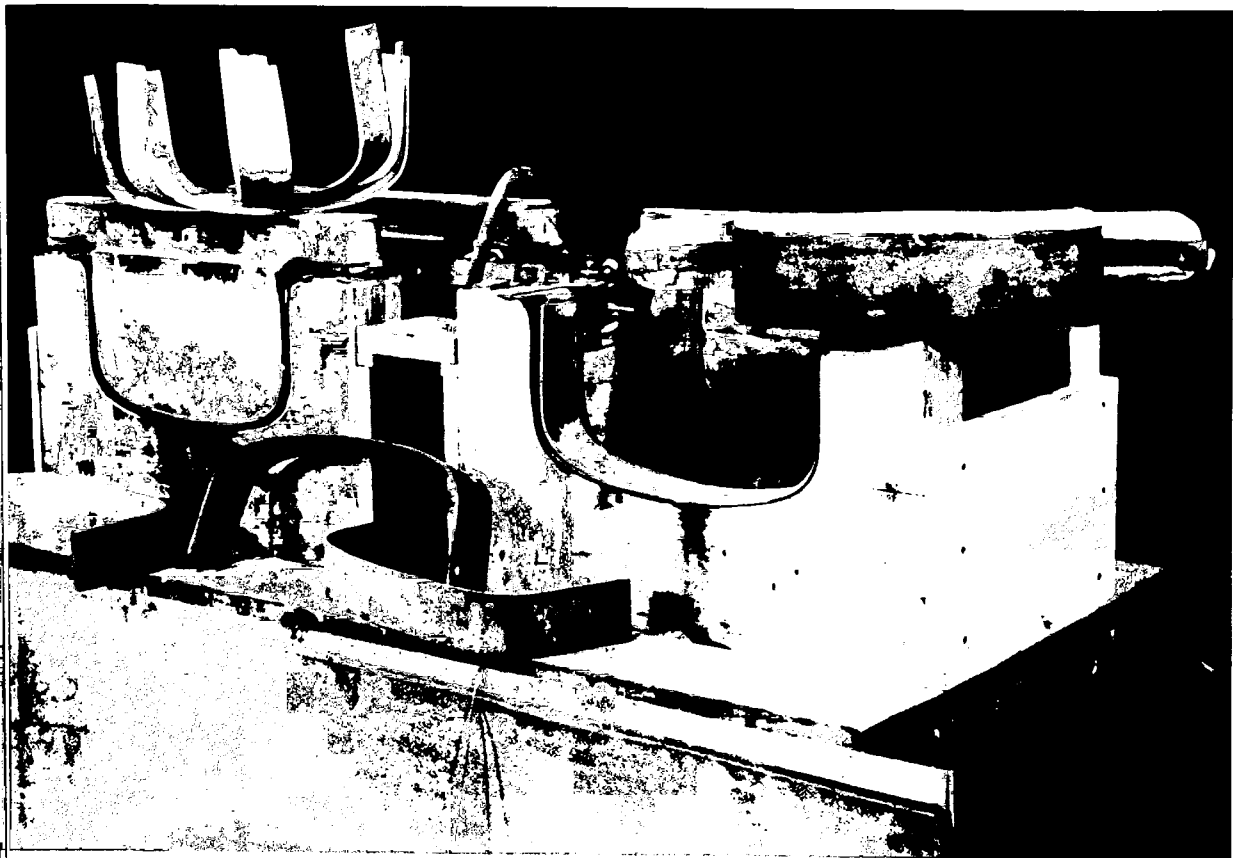
Slika 52. - Preša za lijepljenje rubova na kutijama za radio aparate.

Uredjaj je montiran na jak drveni sto, kako bi mogao podnijeti sile pri prešanju. Utor je izradjen od željeznih profila ugradjenih u sto. Jak i konstantan pritisak najbolje se postizava primjenom pneumatskih cilindara.

Na slici pak 54 vidimo jednostavan uredjaj za zagrijavanje lukova. Iako je jednostavna, konstrukcija je sasvim dobra.

Vrlo zanimljiva je izvedba induktivno zagrijavane beskonačne trake. Grijaća traka koja je u sebe zatvorena predstavlja sekundarni kratko spojeni zavoj jednog ili više transformatora.

Stroj za automatsko furniranje rubova koji djeluje na tome principu prikazan je shematski na slici 55.



Slika 54. - Električno zagrijavani uredjaj za zagrijavanje lukova.

Suština djelovanja uredjaja sastoji se u tome, da je grijaća traka bez ikakvih kontakta i da je zagrijava struja koju kroz nju tjera inducirani napon. Zato se traka zagrijava po cijeloj dužini jednoliko, a ne samo na onom mjestu gdje prolazi kroz transformatore.

Jarmovi transformatora mogu se skinuti, kako bi se mogle umetnuti razne grijaće trake. Specifična snaga na grijaćoj traci može se regulirati time da se uključe ili isključe pojedini transformatori. Oni se mogu takodjer spojiti po dva ili tri u seriju. Na taj način se dobiva veći broj regulacionih stepena.

Tačniji proračun ovog uredjaja s indukcionim zagrijavanjem prilično je zamršen zbog rasipnih polja transformatora i grijaće trake, no ipak

se može jednostavnim računanjem približno ostvariti, uzimajući u obzir da će pogrešku popraviti regulacija koja je izvedena u širokim granicama. Ako se po prije opisanim metodama ili pomoću nomograma izračuna na grijaćoj traci potrební napon, treba jedino još odrediti potrební presjek željeznih jezgara. On se dobiva iz slijedeće jednadžbe, no koja vrijedi samo za frekvenciju 50 Hz:

$$u = \frac{B \cdot S}{45} \quad \text{volta/zavoj}$$

gdje je:

- B - magnetska gustoća z željeznoj jezgri u jedinicama tesla,
- S - presjek željezne jezgre u cm<sup>2</sup>,
- u - zavojni napon u voltima/zavoj.

P r i m j e r . Debljina čelične trake iznosi 1,0 mm, njena širina 50 mm i dužina 3,5 m. Kod željene specifične snage 7000 W/m<sup>2</sup> dobiva se pomoću univerzalnog dijagrama potrební napon  $U = 5 \text{ V} = u$ , razumije se u saglasnosti s poznatim specifičnim otporom čelika (nokoji kod čelika može biti vrlo različit). Ovome naponu treba dodati barem još 20 % na račun induktivnih padova. Zato treba računati s induciraním naponom  $u = 6 \text{ V}$ . Izabrat ćemo gustoću u željezu  $B = 1,1 \text{ T}$ .

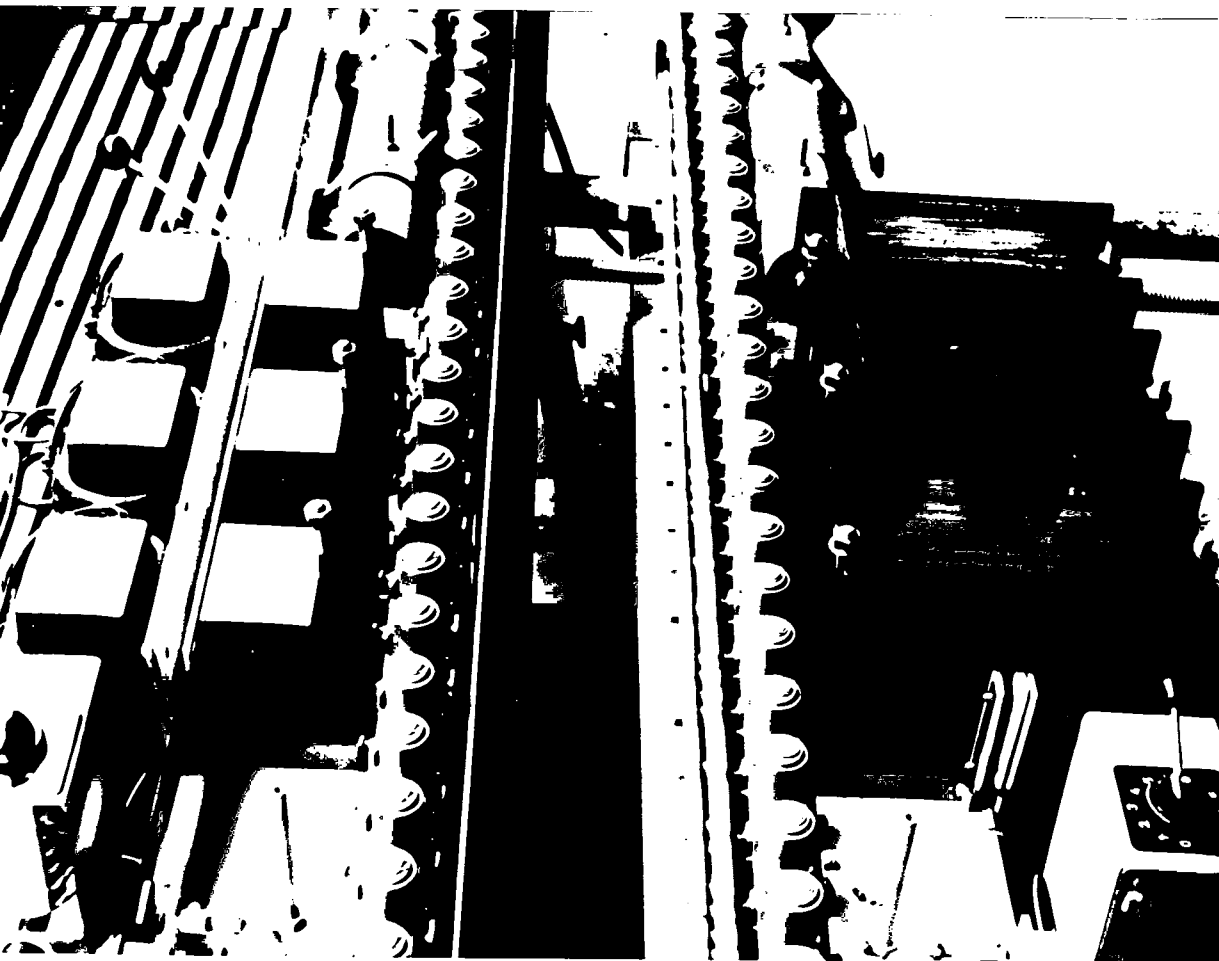
$$S = \frac{45 \cdot u}{B} = \frac{45 \cdot 6}{1,1} = 246 \text{ cm}^2$$

Uzeti ćemo 3 transformatora s po 82cm<sup>2</sup> željeznog presjeka. Ako je pojni napon 220 V, broj primarnih zavoja jednog transformatora iznositi će:

$$n = \frac{45 \cdot U}{B \cdot S} = \frac{45 \cdot 220}{1,1 \cdot 82} = 110 \text{ zavoja}$$

U većim uređjajima postizavaju naponi na traci takodjer do 15 V, presjeci jezgara do 200 cm<sup>2</sup> i priključne snage do 23 kVA. Budući da je za ove uređjaje  $\cos \varphi$  prilično nizak, katkada se ugradjuju takodjer kondenzatori za popravljjanje  $\cos \varphi$ .

Prilikom projektiranja uređjaja s induktionim zagrijavanjem preporučljivo je prepustiti stručnjaku elektrotehničaru da izvede proračun.

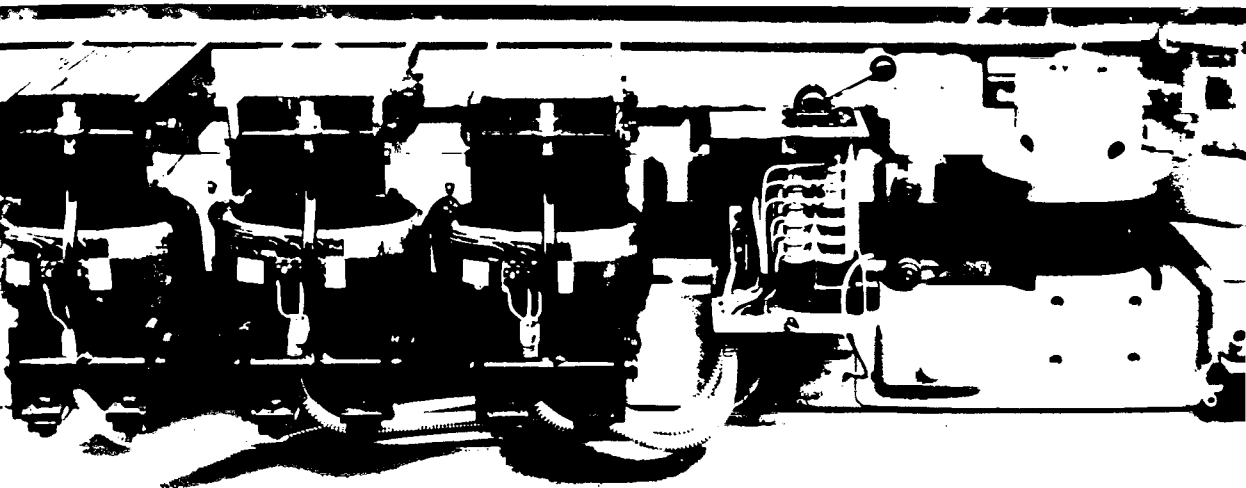


Slika 56.- Indukcioni dio automatskog stroja za furniranje rubova. S lijevih triju transformatora jarmovi su odstranjeni, da bi se mogla umetnuti grijaća traka. Lijeva jedinica stroja je fiksna, a desna se može primicati ili odmicati, kako bi se prilagodila širini komada. Dobro se vide također tlačni cilindri.

Indukcioni dio s transformatorima, grijaćom trakom i tlačnim cilindrima zorno je prikazan na slikama 56 i 57.

Tamo gdje vruća grijaća traka prolazi kroz transformatore oni moraju biti od nje toplinski izolirani. Zbog velikih toplinskih gubitaka preporučuje se dobro izolirati cijelu stazu trake time da se sve skupa pokrije poklopcem prevučenim azbestom. Na slici 56 dobro se vide izolacione ploče. Zbog zagrijavanja tlačni cilindri moraju biti izvedeni s grafitnim ležajima. Debljina furnira koji se još može lijepiti na

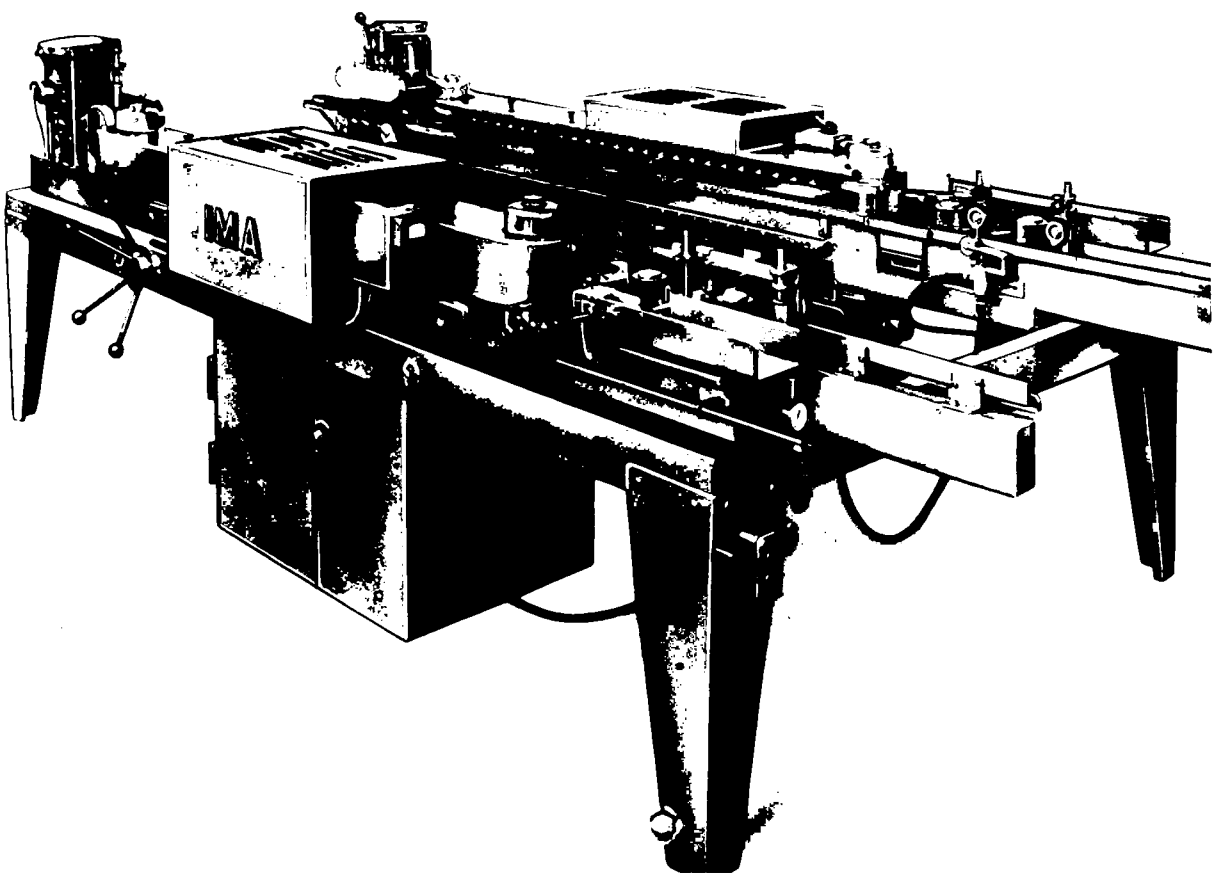
tome stroju iznosi 1,5 do najviše 2 mm.



Slika 57. - Pogled na indukcijske transformatore automatskog stroja za furniranje rubova.

Radna temperatura traka iznosi oko  $200^{\circ}\text{C}$ . Sam stroj kleji i umeće trake furnira, a isto tako poslije završenog furniranja pili rub furnira koji strši iznad površine.

Zbog naglog procesa na ovome stroju ne mogu se upotrebljavati sva brza ljepljiva. Preporučuje se "Kaurit-Fugenleim 6" ili pak "Jowalit 506" tvornice Basf, Ludwigshafen, ili pak "Henkel-Pressal KA 29". Pogled na jedan takav stroj u cijelosti prikazan je na slici 58.



Slika 58. - Automatski stroj za furniranje rubova induktivno zagrija-  
vanim grijaćim trakama.

(Ovaj stroj proizvodi firma IMA Maschinenfabrik Klessmann K.G., Güters-  
loh/West.)

## 2 Izolirana plosnata grijala

Izolirana plosnata grijala upotrebljavaju se naročito za veće grijaće  
plohe. Kod većih grijaćih ploha treba zbog prevelikih struja koje traži  
nesekcionirani grijaći lim poduzimati razne mjere da bi se te struje sma-  
njile. Već smo spomenuli da se plosnata grijala dijele na pojase ili se  
pak razrežu u meandre, za grijala se upotrebljavaju mreže itd. Svi ti  
zahvati unose u prije glatku površinu praznine koje treba izravnati, jer

bi se inače otisak poznao na proizvodu. Izravnanje se izvodi time, da se grijalo prevuče nekim električnim izolacionim slojem, no koji je, na žalost, istovremeno takodjer toplinski izolator. Preko svega toga dolazi gladak kovinski oblog, koji na jednoj strani štiti grijalo a na drugoj proizvod.

Kovinski oblog je u većini slučajeva glatka aluminijska ploča. Obično dostaje debljina 1,5 mm. Deblje ploče su skuplje i u grijalima koja su u pogonu s velikim pauzama prouzrokuju velike gubitke energije (v. tabelu u prijašnjem odsjeku!) Za grijala s velikim toplinskim kapacitetom, kao i tamo gdje je dana mogućnost da se ona za vrijeme pauze zatvore, poželjna je što je moguće deblja ploča. Time se smanji specifična snaga grijala u odnosu na grijala niskog toplinskog kapaciteta.

Kao izolacija između grijala i zaštitne ploče te između grijala i kalupa obično se upotrebljava prešpan debljine 0,5 mm, katkada takodjer 1,0 mm. Još bolji rezultati i kompaktnija jedinica dobiva se time da se grijalo kompaundira, tj. da se ono ulijepi između dva sloja prešpana odgovarajućom masom od umjetnih smola. Pogodan je bakelitni lak, silikonski lak i Comelol lak. Kompaundiranje je naročito podesno kada se za grijala upotrebljava pocinčana mreža, jer lak štiti mrežu od oksidacije i otpadanja cinka. Pošto se lak stvrdne, gornja i donja ljepenka te grijalo između njih stvaraju jedinicu. Naročito silikonski lak podnosi vrlo visoke temperature - takodjer do 400°C, ali na žalost je vrlo skup.

Da bismo utvrdili podesnost lakova za kompaundiranje električnih grijala, u Laboratoriju za elektrotermiju u Ljubljani izveli smo nekoliko pokusa impregniranja prešpana silikonskim i bakelitnim lakom. Ispitivanja su pokazala da prešpan impregniran silikonskim lakom mnogo dobije na čvrstoći i elastičnosti. Te osobine on zadržava takodjer ako je grijalo stalno u pogonu kod 130°C. Bakelitnim lakom impregnirani prešpan nešto je čvrstiji, ali i krhkiji. U trajnom pogonu kod 140°C i jedna i



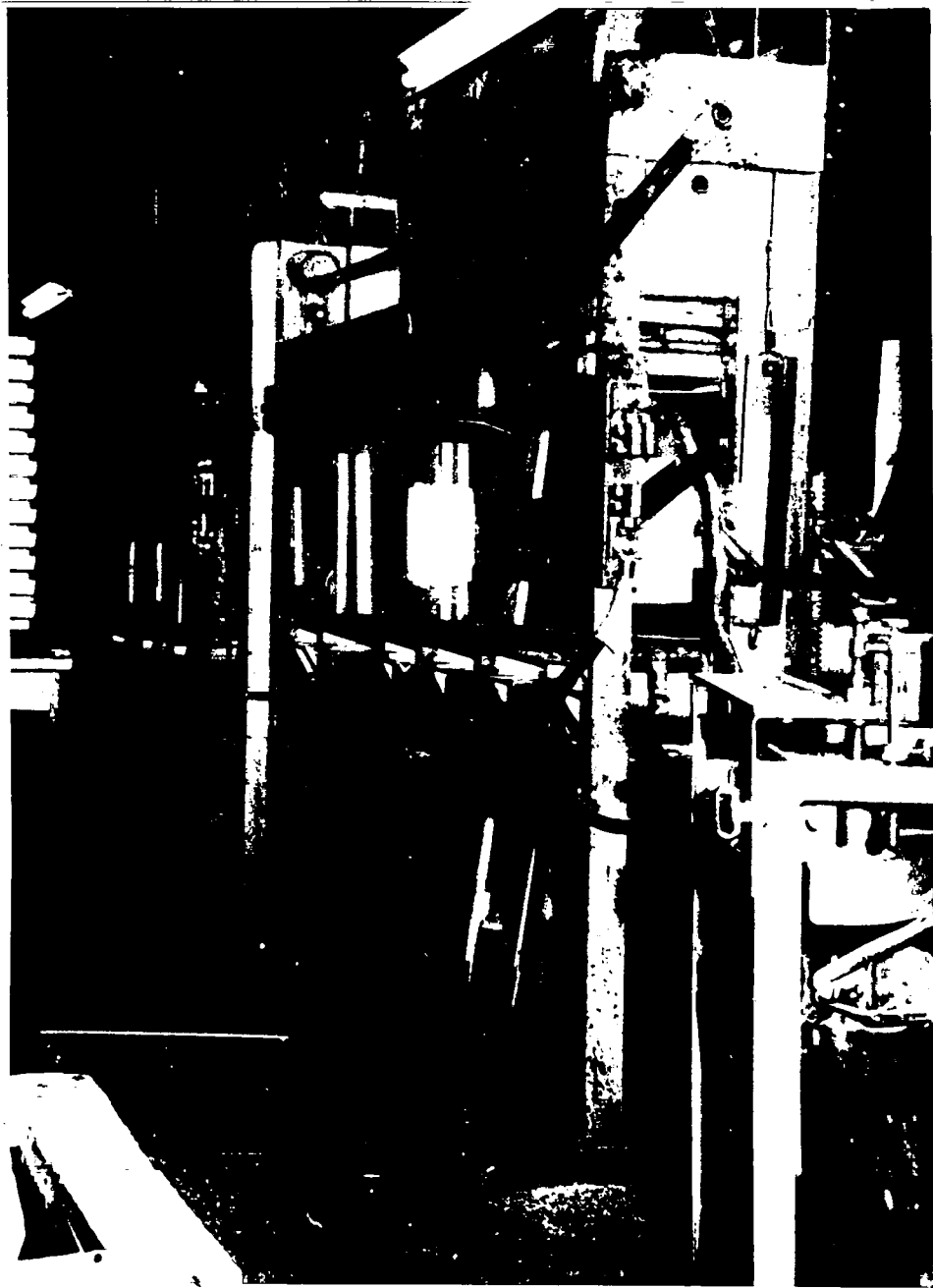
druga ljepjenka postaju krhke. Bakelitni i silikonski lak proizvodi tvornica "Color", Medvode. Comelol melaminski lak proizvodi Kemična tovarna u Kočevju. Njegova polimerizacijska temperatura je  $120^{\circ}\text{C}$ . Naime, pošto se grijalo izradi i kompaundira, treba ga polimerizirati kod polimerizacijske temperature i pod pritiskom koji neka je nekoliko atmosfera veći od radnog pritiska.

Ne treba se previše truditi da bi se grijala toplinski izolirala, jer je i samo drvo dobar toplinski izolator - barem toliko dobar kao što je prešpan. Azbest se ne preporučuje jer njegova debljina nije jednolika, bolji je klingerit, Tako nalazimo da je mnogo grijala postavljenih direktno na drvo kalupa. Za temperature do  $110^{\circ}\text{C}$  vrlo je podesna pust koja istovremeno izravnavava netačnosti kalupa i osigurava jednoličniji pritisak po cijeloj grijaćoj ploči. Iz istih razloga podloži se pod grijalo umjetna guma koja podnosi više temperature. Podesna tvar bio bi takodjer Teflon, ali za sada je on još preskup. Vrlo dobar izolator je takodjer staklotekstil, koji će uskoro početi proizvoditi tvornica stakla u Skoplju. Staklotekstil je vrlo podesan za površinska grijala, jer podnosi visoke temperature. On će vjerovatno biti najupotrebljiviji i najjeftiniji materijal.

P r i m j e r . Slika 59 prikazuje dvije vertikalne rubne preše koje se nalaze u Tovarni pohištva u Novoj Gorici. Električni podaci su slijedeći: jedno trakasto grijalo od čeličnog lima dimenzija  $140 \cdot 1320$  mm, debljine 0,33 mm. Napon 4 V, struja 400 A. Odatle se dobiva snaga 1600 W, specifična snaga  $p = 8650 \text{ W/m}^2$  i  $\zeta = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{m}$ .

Grijalo je pokriveno jednim slojem prešpana (tlačne ljepjenke) i zatim debelom aluminijskom pločom. Ovu izvedbu trebalo bi kritizirati zbog aluminijske ploče i izolacije od prešpana. Aluminijska ploča troši da bi se zagrijala mnogo energije koju potom u pauzi predaje u okolicu. U tom slučaju nije prijeko potrebno da grijalo bude zatvoreno. Da bi se predočili

gubici topline što ih prouzrokuje takva ploča kod grijala koja su periodično u pogonu, sastavili smo tabelu koja pokazuje koliko bi vreme-



Slika 59, - Vertikalna rubna preša sa zračnim mijehom za proizvodnju pritiska.

na bilo potrebno kod raznih specifičnih snaga grijala da se 4 mm debela aluminijska ploča zagrije od  $20^{\circ}\text{C}$  na  $110^{\circ}\text{C}$ , u slučaju da se za zagrijavanje ploče potroši sva energija (što se nikada ne dešava) ili pak samo 50 %.

Vrijeme koje je potrebno da bi se 4 mm debela aluminijska ploča zagrijala od  $20$  na  $110^{\circ}\text{C}$  :

| =====              |                            |                         |
|--------------------|----------------------------|-------------------------|
| p W/m <sup>2</sup> | 100% iskorištenje energije | 50% iskorištenje energ. |
| =====              |                            |                         |
| 1 000              | 15,5 min.                  | 31,0 min.               |
| 1 500              | 10,3 min.                  | 20,6 min.               |
| 2 000              | 7,7 min.                   | 15,4 min.               |
| 3 000              | 5,2 min.                   | 10,4 min.               |
| 4 000              | 3,9 min.                   | 7,8 min.                |
| 8 000              | 1,9 min.                   | 3,9 min.                |
| =====              |                            |                         |

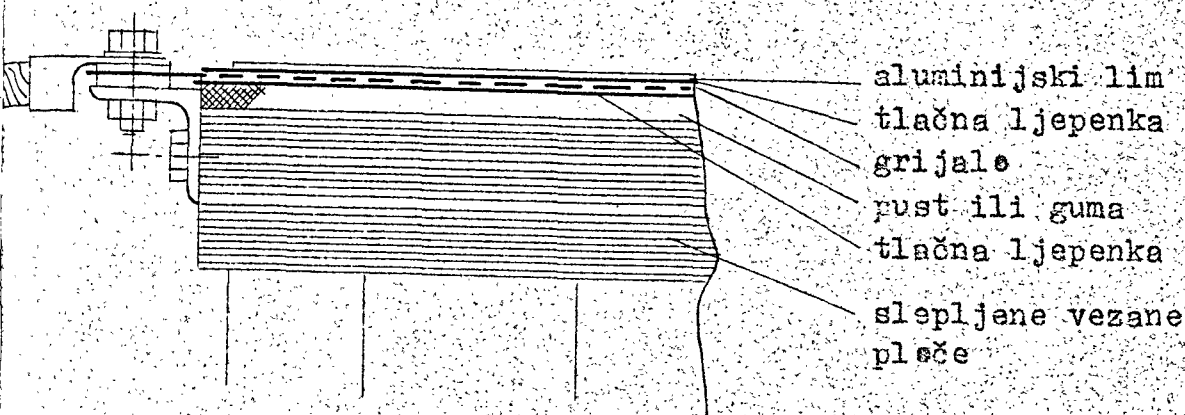
Iz ove tabele može se razabrati da 1 m<sup>2</sup> aluminijskog lima debljine 4 mm preda u okolicu poslije četiri ohladjivanja 1 kWh. Ako grijala rade s velikim pauzama te se za vrijeme tih pauza ne mogu zatvoriti da bi se spriječilo ohladjivanje, izabrat ćemo, dali je ikako moguće, gola grijala, tj. grijala s malim toplinskim kapacitetom.

Na istoj slici dobro se vide gore dvije usporedne vatrogasne cijevi koje proizvode potrebni pneumatski pritisak, kao i solidna sklopka na šest pera za velike struje.

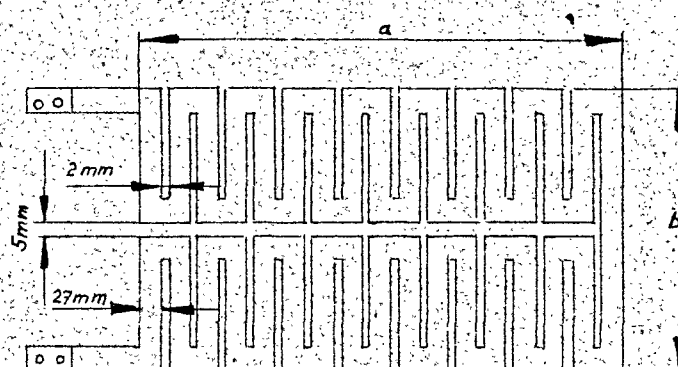
Presjek kroz grijalo i podlogu prikazan je na slici 60.

2.1 Grijala od lima i mreže velikih površina.- Budući da se zbog velikih struja grijala velikih površina ne mogu izradjivati od jednog komada lima u cijelome, lim se razreže na pojase ili meandre. Razmotrimo nekoliko primjera !

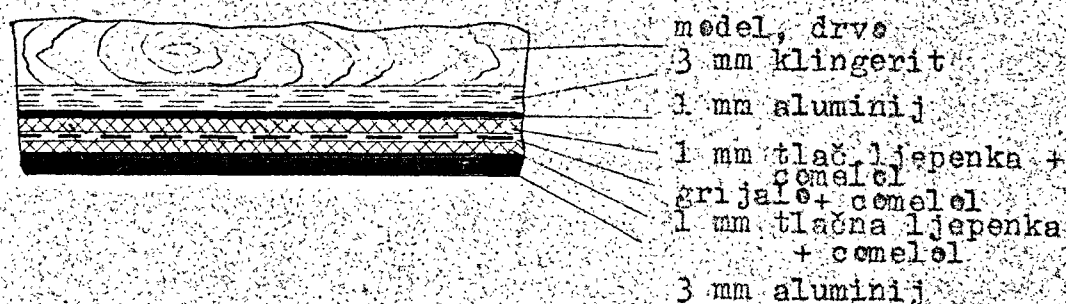
P r i m j e r 1. Grijalo od izrezanog aluminijskog lima debljine 0,5 mm ima oblik prikazan na slici 61. Meandrični oblik grijala umetne se



Slika 60. Prerez kroz grijalo prese za furniranje ravnih rubova



Slika 61. Izrezane meandarske grijale



Slika 62. Prerez grijala

između dva komada prešpana (slika 62) i kompaundira Comelolom. Zato se menadri ne mogu više pomicati i prouzrokovati međusobne spojeve. Aluminijska ploča debljine 1 mm, koja je položena preko klingerita, služi za izravnavanje neravnosti kalupa i klingerita. Grijalo prikazano na slici 62 razmjerno je skupo, no vrlo trajno. Ono je podeseo za preše s kratkim pauzama. Spada među grijala srednjeg toplinskog kapaciteta.

Od svih vrsta lima koje se upotrebljavaju za izrezivanje meandara kao najbolji se je pokazao aluminij. Njegov specifični otpor je doduše veoma nizak, no zato se mogu uzeti tanje folije, i to toliko tanke koliko dozvoljavaju mehanički razlozi. Ne treba strahovati da će se zbog korozije presjek smanjiti i da će se pojaviti lokalna pregrijavanja. Iz mehaničkih razloga za velike ploče obično se ne uzima debljina manja od 1,1 mm. Budući da postoji više vrsta aluminijskih slitina, navodimo tipove: AlMg 5, "dural" AlCuMg i "pantal" AlMgSi Tvornice lakih kovina "Boris Kidrič" iz Šibenika. Ovi limovi se proizvode u slijedećim dimenzijama:

#### LIMOVI

| Debljina<br>mm | Standardne dimenzije |  | Maksimalne dimenzije |  |
|----------------|----------------------|--|----------------------|--|
|                | Al lima              |  | Al lima              |  |
|                | mm                   |  | mm                   |  |
| 0,25 ... 0,5   | 500 . 2000           |  | 600 . 2000           |  |
| 0,5 ... 1,0    | 800 . 2000           |  | 1000 . 2000          |  |
| 1,0 ... 1,5    | 1000 . 2000          |  | 1200 . 3000          |  |
| 1,5 ... 2,0    | 1000 . 2000          |  | 1500 . 4000          |  |
| 2,0 .... 3,0   | 1000 . 2000          |  | 2000 . 6000          |  |
| 3,0 ... 4,0    | 1000 . 2000          |  | 2000 . 8000          |  |

#### TRAKE BESKONAČNIH DUŽINA

Debljina traka: 0,10; 0,15; 0,20; Minimalna širina 10 mm i maksimalna širina 650 mm.

Debljina traka: 0,25 ; 0,30 ; 0,40. Minimalna širina 20 mm i maksimalna širina 700 mm.

Debljina traka: 0,50; 0,60; 0,80 ; 1,00 mm. Minimalna širina 20 mm i maksimalna širina 1200 mm.

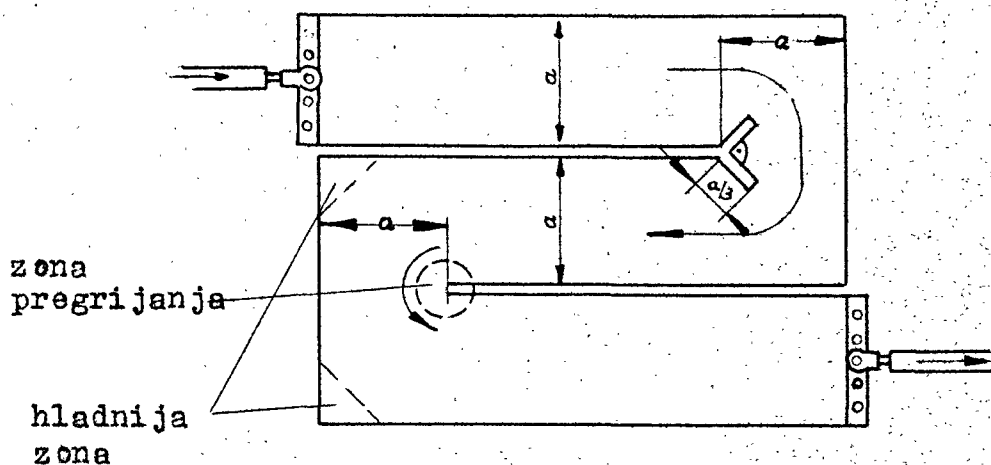
#### FOLIJE

Debljina: 0,009 mm ... 0,2 mm; širina: 20 mm ... 620 mm.

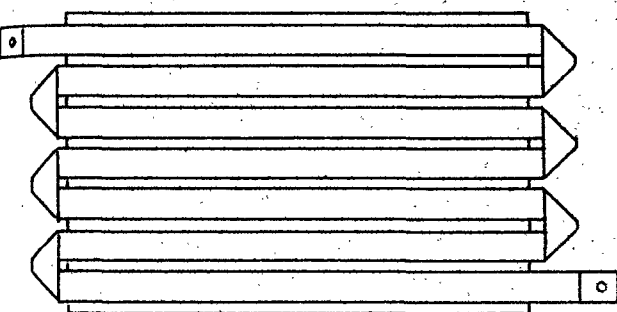
Ako meandrična grijala rade s velikim specifičnim opterećenjima često se pojavljuju teškoće zbog lokalnih pregrijanja na mjestima gdje završava zarez meandra i u hladnijim zonama u kutovima meandra. Tome se može do neke mjere doskočiti ako se kraj zareza meandra izoblikuje s dva nova zareza koji jedan prema drugome stoje okomito u obliku slova Y (slika 63).

Ako je grijalo od debelog lima, ako je gornji krajnji aluminijski lim debeo te ako specifične snage nisu velike, ova pojava ne dolazi do izraza. Temperaturne razlike u samom grijalu i potom još u krajnjoj ploči prilično se izjednače te nisu potrebna dodatna zarezivanja meandra. Takve teškoće ne postoje kod plosnatih grijala koja su sastavljena od traka, no zato je mnogo nezgodniji rad pri samom sastavljanju grijala sa širokim plohami (slika 64). Na toj slici je prikazano grijalo široke plohe sastavljeno od uskih traka. S električnog stanovišta to je vrlo pogodna konstrukcija, jer su struje male i naponi veliki. Savinuti krajevi moraju gledati na kraju iz izolacije, jer bi se inače tamo pojavljivala pregrijanja i razlike u debljini.

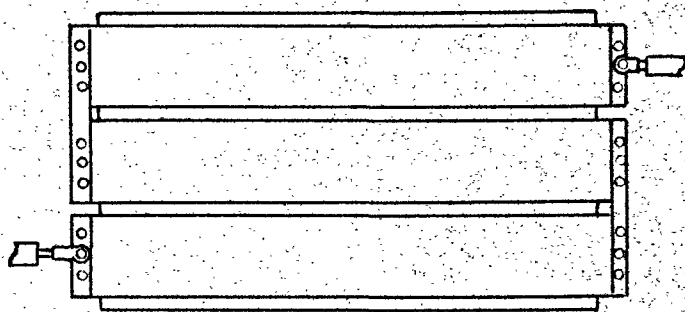
Vrlo pogodan materijal za ovu vrstu grijala je Kanthal DS. Najveća širina trake od kantala kod debljine 0,3 mm iznosi 50 mm. Otpor takve trake iznosi 0,09 oma/m, a težina 108 g/m. Cijena Kanthala je sada 10 000 Din/kg. Za ovu izvedbu vrlo su podesne takodjer aluminijske trake, a katkada i folije.



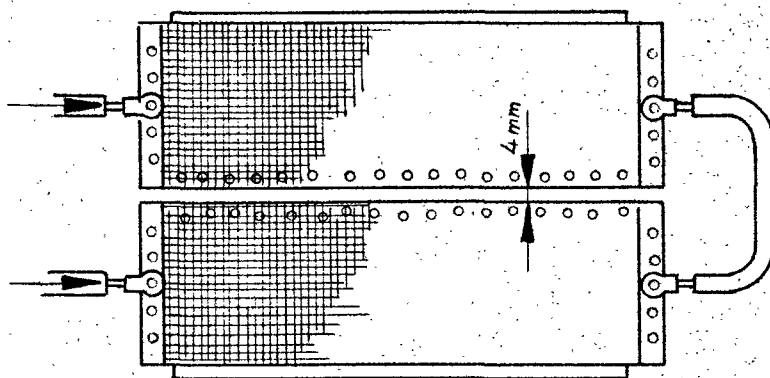
Slika 63. Lokalna pregrijanja i hladnije zone meandarskih grijala te mjere za izjednačenje temperatura Y zarezom



Slika 64. Jedan primjer sastavljanja grijala velike površine od uskih traka  
traka se pregiba



Slika 65. Jedan primjer sastavljanja grijala velike površine od pojasa srednje širine trake se spajaju metalnim tračnicama



Slika 66. Jedan primjer sastavljanja grijala velike površine od širokih pojasa mreže. Metalne tračnice (elektrode) spajaju se kabelima

Razmaci izmedju traka neka su što je moguće manji, ali uvijek toliki, da ne dolazi do spoja izmedju pojedinih traka. Ti razmaci variraju izmedju 2 i 10 mm. Trake se fiksiraju uljepljivanjem (silikonski lak, bakelitni lak, Comelol) izmedju dviju ploča prešpana ili pak staklo-tekstila, katkada takodjer pribijanjem na kalup (pažnja - raztezanje!).

Na slici 65 prikazan je jedan primjer spajanja srednje širokih grijaćih pojasa pomoću podesnih kovinskih tračnica (elektroda), medju koje se stisne grijaći pojas.

Na slici 66 prikazano je grijalo široke plohe sastavljeno od dva široka pojasa mreže. Ako su pojasi široki treba ih medju sobom spojiti tako da je priključak na sredini širine trake, a ne onako kao što je prikazano na slici 65. Zbog <sup>pada</sup>napoda u dugim kovinskim tračnicama dolazi do iste pojave lokalnih pregrijavanja kao kod meandričnih grijala. Na slici 67 prikazano je grijalo široke plohe s dva široka pojasa od žičane mreže (Tovarna pohištva, Nova Gorica).

Pri sastavljanju grijala od mreže treba paziti da se pojasi režu duž niti a ne u bilo kojem smjeru. Struju provode jedino uzdužne niti. Toplina se dakle razvija jedino u uzdužnim žicama. Na svaki način će te žice kod iste specifične snage postići višu temperaturu nego, na primjer, grijalo od lima koje ima veću aktivnu površinu. Zato se kod obične izolacije od prešpana ne mogu preporučiti specifične snage veće od  $5000 \text{ W/m}^2$ . Ako su grijala od mreže kompaundirana (impregnirana), ili ako su izolirana staklotekstilom ili teflonom, specifična snaga može biti veća.

Grijala od mreže su skoro nezamjenljiva kada se ima posla s dvostruko krivim plohama, jer se ta grijala dobro prilagođuju i takvim oblicima. U takvom slučaju treba upozoriti da bi se mogla pojaviti manja ili veća lokalna pregrijanja. Zbog savijanja kvadrati mreže se deformiraju - postaju rombi. Specifična snaga se naime poveća toliko puta koliko puta



je ploština romba manja od ploštine prvobitnog kvadrata. Nova specifična snaga biti će:

$$p' = p \frac{1}{\cos \alpha}$$

gdje je  $\alpha$  oštri kut romba, a p prvobitna specifična snaga kvadrata.

Često se upotrebljava željezna pocinčana mreža br. 16 s promjerom žice 0,3 mm. Loša je strana tih mreža da im lako otpada prevlaka od cinka i sakuplja se na najnižem mjestu. To prouzrokuje ispupčenja, a katkada i proboj izolacije te kratki spojevi poslije mogu uništiti aluminijsku prevlaku. Razumije se da do toga dolazi tek poslije više mjeseci pogona bez prekida. Tome se može doskočiti time da se grijalo kompaundira. Ako žica nije pocinčana te ako se ne kompaundira namaže se prije uljem da potamni, jer poslije ne rđa.

Ako se grijaća mreža ne kompaundira, međusobni položaj pojasa treba fiksirati na koji drugi način. Obično se oni pričvršćuju malim čavlima na podlogu. Kao dobre su se pokazale takodjer spojnice za papir. Raspor između pojasa neka je što manji, na primjer 4 mm.

Ako ne bi bili rubovi proizvoda zbog većih toplinskih gubitaka prema vani hladniji, grijalo mora biti uvijek nešto veće od komada koji se izradjuje. Dostajalo bi i 0,5 cm, no ipak se uzima otprilike za 2 cm veća dimenzija, da ne bi trebalo komad tačno naravnati. Medjutim, ne smije se pretjeravati s tim povećavanjem dimenzija. Dimenzije grijala ne smiju biti znatno veće od onih komada, naročito ne ako su grijala velike specifične snage, jer bi zbog slabijeg odvodjenja topline viša temperatura mogla pokvariti izolaciju.



Slika 67.- Grijalo široke plohe s dva široka pojasa od žičane mreže.

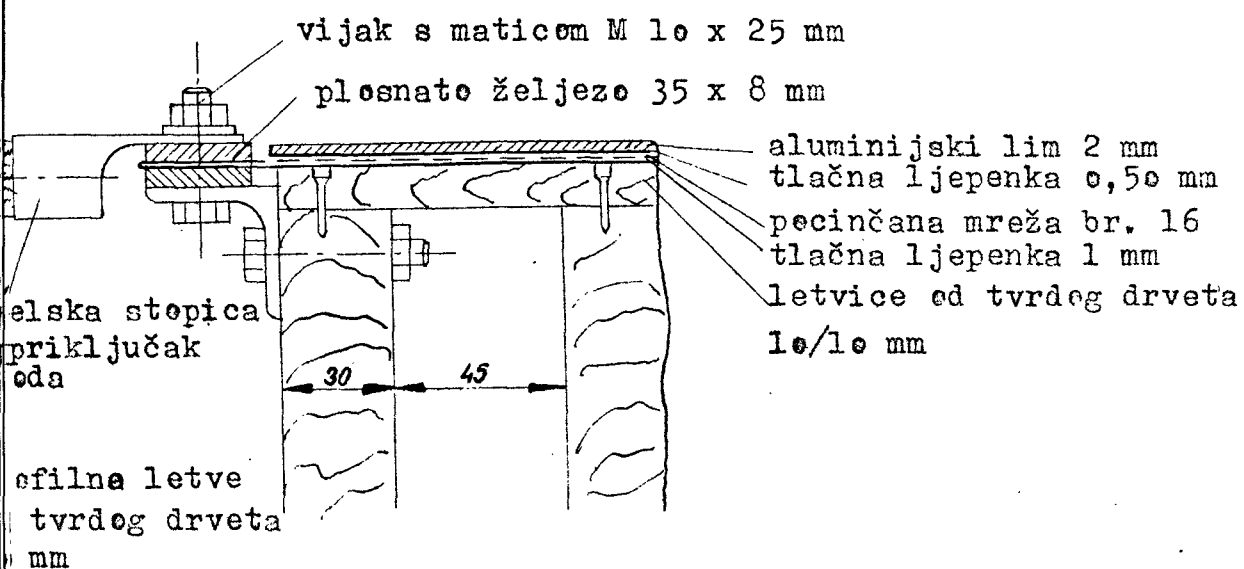
2.2 Izradba kalupa za grijala široke plohe. - Prednost elektrotopnog načina furniranja i zagrijavanja sastoji se pretežno u tome da šablone koje su potrebne i kalupi mogu biti drveni, vlastite proizvodnje i zato jeftini. To mogu biti kalupi za ravne, a isto tako i za krive plohe. Na žalost, ti kalupi se ponekad krive, o tome treba voditi računa pri izradbi kalupa i poduzeti sve mjere da se to spriječi.

Na slikama 68 i 69 prikazan je jedan primjer konstrukcije grijala za velike plohe. Grijala su konstruirana u Tovarni pohištva u Novoj Gorici i priredjena su za velike preše (slika 70).

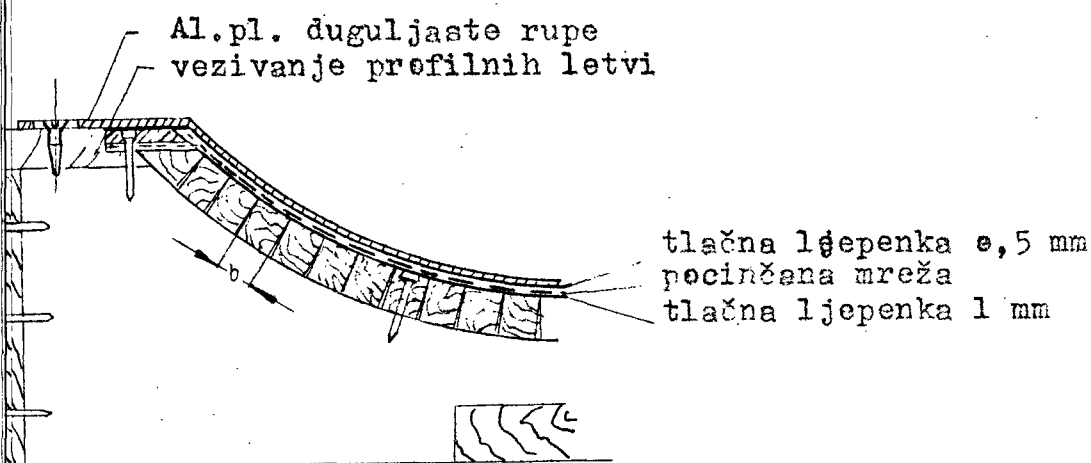
Ova konstrukcija pokazala se je kao dobra i ne krivi se pri variranju temperatura. Karakteristična su jaka poprečna rebra debljine 3 cm, koja se postavljaju na svakih 4,5 cm, i razmjerno lake uzdužne letvice 1 . 1 cm. Na taj način mogu se izraditi kalupi sasvim različitih oblika



Slika 70.- Dvije velike preše u tovarni pohištva u Novoj Gorici predviđene su za elektrootporno lijepljenje i furniranje. Na vrhu preše dobro se vidi transformator za velike struje.

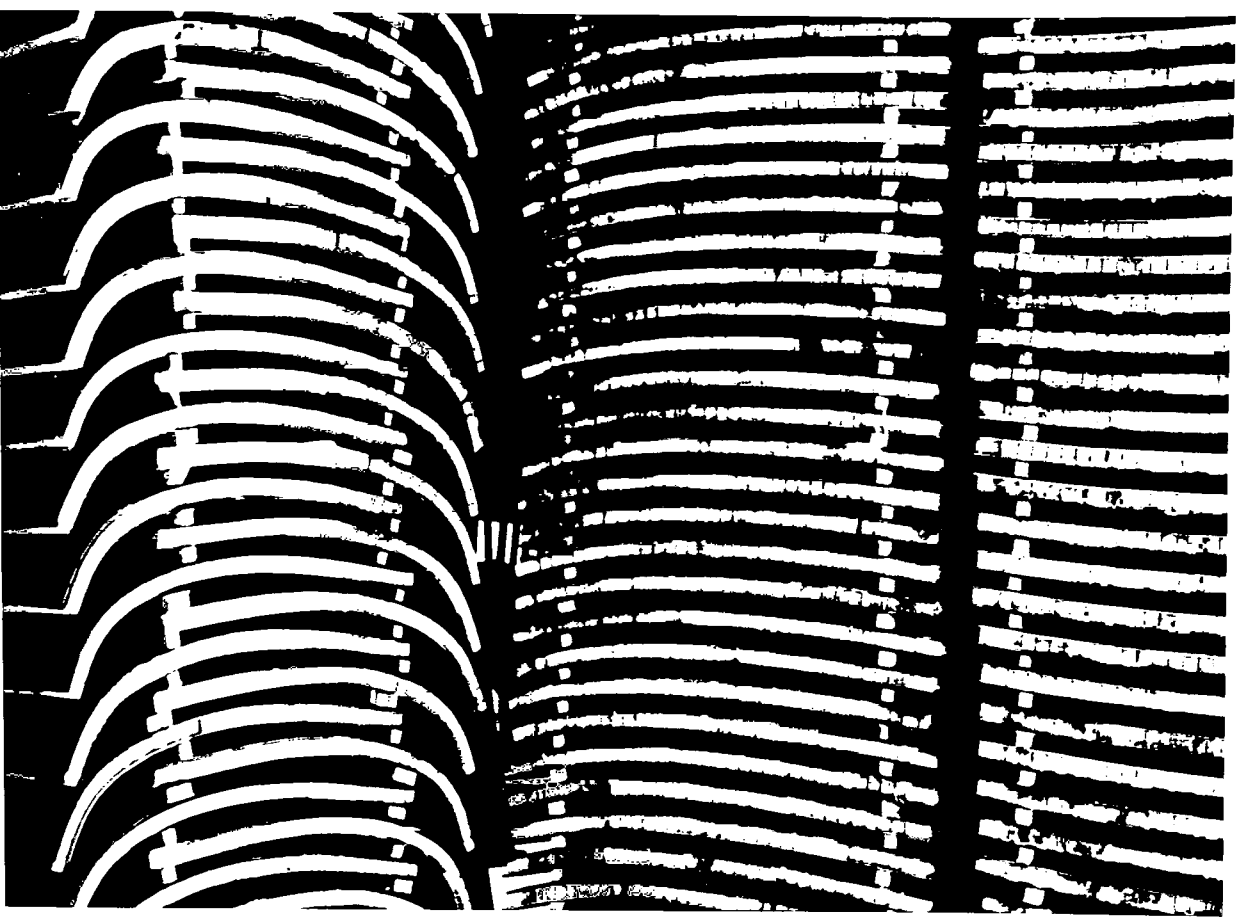


Slika 68. Uzdužni prerez kalupa za velike okruglosti



Slika 69. Poprečni prerez kalupa za okruglosti

koji su istovremeno do neke mjere elastični. Kalupi se moraju prema-  
vati dobro izolirati, osobito krajnji, jer je inače zbog toplinskih  
gubitaka njihova temperatura niža. Kalupi se jeftino i dobro izolira-  
ju zgurnom vunom, kojom se ispune praznine između poprečnih rebara.



Slika 71.- Nekoliko proizvoda iz velike preše (slika 70).

Detajle obradljivane preše prikazuju takodjer fotografije na slikama  
40 i 41, a nekoliko proizvoda iz te preše prikazuje slika 71. Na prvim  
dvjema slikama se vidi kako je srednji dio kalupa obješen na lance. Do-  
bro je da se ti lanci obuku gumenim cijevima, kako ne bi došlo do krat-  
kog spoja kada se preša zatvori.

Od velikog je značaja kako se na kalup pričvršćuju pojedini dijelovi grijala, jer prilikom zagrijavanja svi dijelovi i kalup nemaju jednako rastezanje. Ako se o tome ne vodi računa, površina postane valovita te se pri ponovnom prešanju pokvari.

Toplinska izolacija pričvršćuje se na kalup lijepljenjem ili pribijanjem sama ili pak zajedno s grijalom. Meandrična i mrežna grijala prilijepe se i čvrsto pritvrdi na podlogu kroz izolacioni sloj. Izolacioni sloj između grijala i zaštitne aluminijske ploče pričvrste se samo na jedan vanjski rub kalupa. Ova ploča mora biti veća od grijala. Ako je grijalo kompaundirano, pričvrsti se samo na jedan rub kalupa. Vrlo pomnivo mora biti pričvršćena završna aluminijska ploča. Ona se uopće obično ne pričvršćuje vijcima, nego se rubovi saviju preko letvice, kao što je prikazano na slici 72, a letvica se pričvrsti na kalup kroz provrte u limu. Ako se želi lim pričvrstiti vijsima na kalup, treba to izvesti tako da se lim može širiti u svim smjerovima. Vijci koji se nalaze na rasporima ne smiju biti pritegnuti.

Da bi se dobila približna predodžba o rastezanju ploče navodimo da se 1 m duga aluminijska ploča pri zagrijanju za  $100^{\circ}\text{C}$  rastegne otprilike za 2,5 mm. Ploča duga 2 m trebalo bi da ima utor dug najmanje 10 mm.

3. Namotani grijaći ulošci. - Svi do sada opisani načini zagrijavanja osnivali su se na primjeni niskog napona koji posjeduje veliku i odlučujuću prednost da je pri posluživanju isključena bilo kakva opasnost od strujnog udara. Slijedeća dva odsjeka obradjuju grijala koja djeluju na obični mrežni napon. Takva grijala su najjeftinija, jer im nisu potrebni transformatori. Kod nepažljive pak ili aljkave upotrebe takava grijala mogu biti zbog slabe konstrukcije ili uzdržavanja po život opasna te se ne mogu preporučiti na opću upotrebu.

Stepen opasnosti ne ovisi samo o grijalu, nego u pretežnoj mjeri i o

okolici. Za suhe stambene prostorije s drvenim podom bez centralnog grijanja ili vodovoda na dohvatu nisu propisane nikakve dodatne zaštitne mjere, no za kupaonice, podruma i prostorije u kojima su razne kovinske konstrukcije i vodljiv pod predviđene su najstrože sigurnosne mjere. Radna mjesta u našim tvornicama rijetko kada bi se mogla usporedjivati sa suhim stanom bez kovinskih dijelova na dohvatu, da bi se mogla upotrebljavati jeftina grijala.

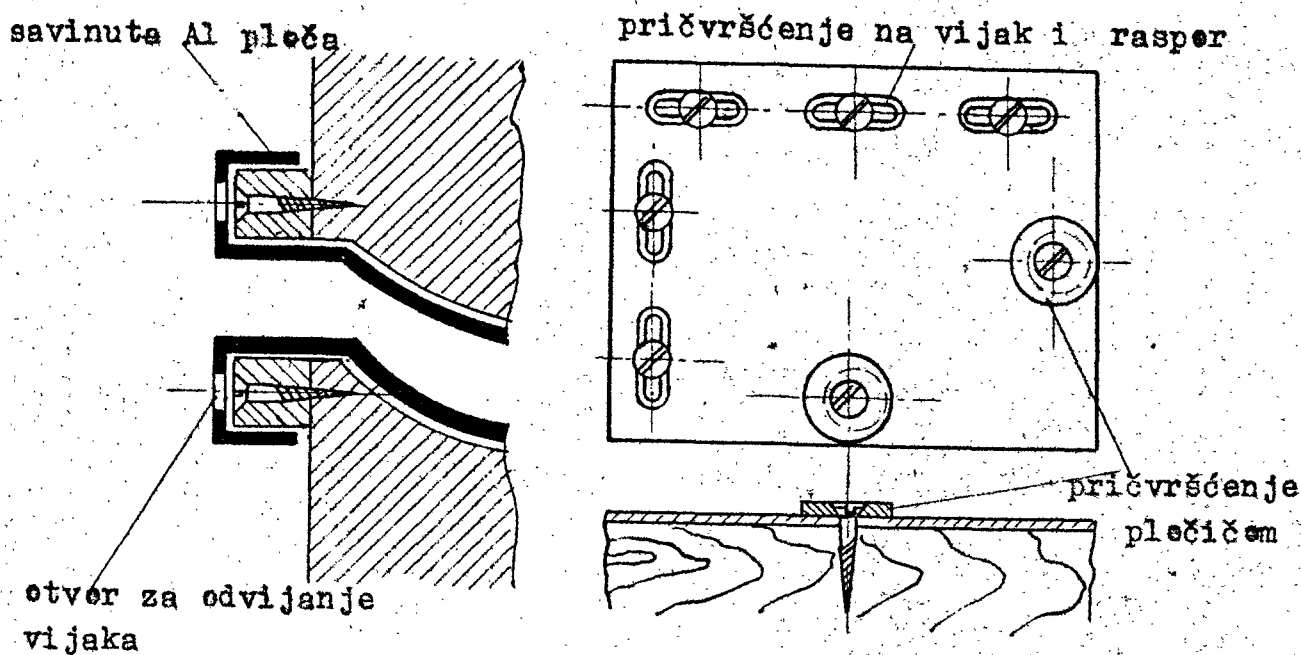
Ako se spomenutim grijalima doda kovinski oklop koji se po propisima osigura zaštitnim vodom znatno se poveća stepen sigurnosti. Takvo grijalo moglo bi se tada preporučiti za opću upotrebu. No njega mora svakako konstruirati stručnjak elektrotehničar koji snosi takodjer odgovornost. Stanje takvog uređaja treba za vrijeme pogona često kontrolirati.

Na slici 73 prikazano je grijalo veće površine, sastavljeno od namotanih grijaćih uložaka. Na njemu ćemo objasniti konstrukciju i proračun.

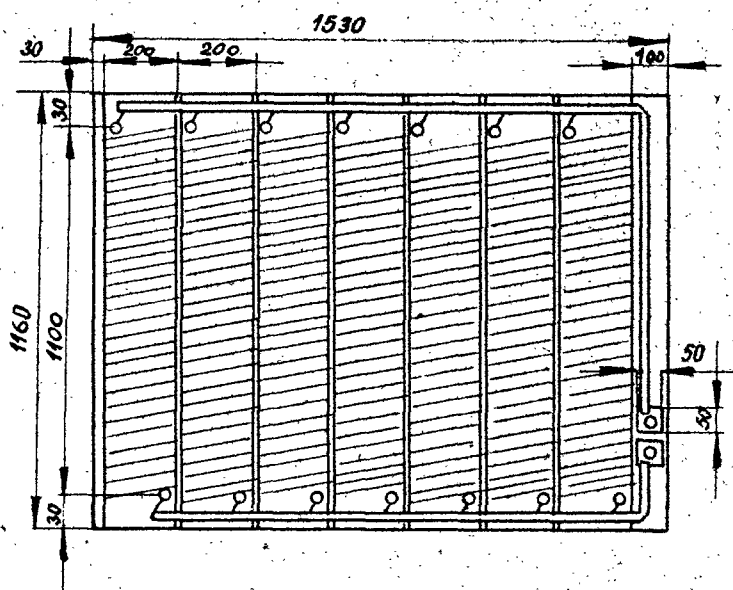
Neka specifična snaga grijala iznosi  $p = 4000 \text{ W/m}^2$ . Potrebna veličina grijaće površine iznosi  $1050 \cdot 1350 \text{ mm}$ . Zbog većeg ohladjivanja na rubovima svugdje se dodaje još  $25 \text{ mm}$ , te grijaća ploha ima dimenzije  $1100 \cdot 1400 \text{ mm}$ . Ovu površinu treba podijeliti na pojedine pojase i namotati ih žicom kao što su namotani grijaći ulošci u električnim glačalicama, a potom ih opet sastaviti u plohu traženih dimenzija.

Opis grijala: Ploha se sastoji od 7 grijaćih pojasa, od kojih je svaki širok  $200 \text{ mm}$  i dug  $1160 \text{ mm}$ . Dužina zagrijavanog dijela iznosi samo  $1100 \text{ mm}$ .

Grijala se izrađuju ovako: Uzme se 5 arka ljepenke (od  $0,5 \dots 0,8 \text{ mm}$ ), od kojih se po dva arka upotrijebe za gornju i donju izolaciju. Srednja ploča razreže se na pojase ( $200 \cdot 1160 \text{ mm}$ ) na koje se namota žica. Poslije završenog rada sve plohe se namažu impregnacionim sredstvom i stisnu, kako bi se sve zajedno sljepilo u jednu cjelinu.



Slika 72. Način pričvršćivanja aluminijske ploče na kalup zbog toplinskog rastezanja



Slika 73. Sastavljanje grijala veće površine od pojedinih namotanih uložaka



Svih 7 odrezanih pojasa polože se jedan iznad drugog te se pilom narežu u rubove plitki zarezi (razumije se na tačno označenim mjestima), kako bi namot bio tačniji i kako žica ne bi klizila. Prije nego što se taj paket rastavi provrta se na svakom kraju po jedna rupa kroz koju se prilikom namatanja provuče žica i presavine natrag, da se kraj ne bi odmotavao.

Kada su grijala namotana postave se na donja dva arka papira jedno pored drugog (slika 73). Namoti susjednih pojasa međusobno se ne dodiraju, jer su zbog ispiljenih utora donekle udubljeni u rub. A i kad bi se slučajno negdje dodirnuli ne bi nastala nikakva šteta, jer zbog paralelnog spoja i onako među njima ne postoji potencijalna razlika.

Priključak grijaćih pojasa izvodi se tankom bakrenom trakom na koju se zaleme malo splošteni krajevi grijaće žice. Za priključak dovoda izrade se dvije pločice od 0,9 mm debelog bakrenog lima dimenzija 50 . 50 mm. U pojas (100 . 1160 mm) se izrežu dvije rupe 50 . 50 mm, kamo se umetnu na priključne trake zalemljene bakrene pločice 50 . 50 mm. Na taj način sastavljeno grijalo pokrije se s preostale dvije ploče (1530 . 1160 mm) no prije toga u njima se izrežu dva kvadratna otvora 25 . 25 mm tačno tamo gdje se odozdo nalaze bakrene priključne pločice 50 . 50 mm. Sve plohe svih 5 arakal osim vanjske, namažu se impregnacionim sredstvom, umetnu u prešu (koja može biti takodjer kalup s krivinom) i stisnu. Polimerizacijska temperatura mora biti veća od radne temperature grijala, a isto tako i pritisak. Preporučuje se pritisak do 20 atmosfera. Pošto je grijalo pečeno, impregniraju se još vanjske plohe te isto tako peku, ali bez pritiska.

Priključni vod mora biti od pletenog teškog radioničkog gajtana, a sam priključak zaštićen izoliranom kutijom. Priključni vod mora biti rasterećen na vlak (mora biti pričvršćen tako da stezaljke nisu mehanički opterećene ako se vuče za vod).

Ako se želi grijalo zaštititi, uzmu se još dvije aluminijske ploče te

te se duž svih rubova pričvrste vijcima s upuštenim glavama tako grijalo stvara jednu cjelinu.

Priključni ormarić treba izvesti tako da se ispod stezaljki na dva mjesta pilom zarezne aluminijska ploča i savine nadolje (slika 74). Savinuti dio snabdi je se vijkom za priključak zaštitnog voda i o-  
bujmicom za rasterećenje priključka na vlak. Poklopac se izradi od istog materijala kao i zaštitna ploča.

Proračun grijala. - Dužina elementa (jednog od jednakih grijaćih pojasa) neka iznosi "a" i širina "b" metara. Prema tome je njegova grijaća površina:

$$S = a \cdot b \quad [m^2]$$

Ako je "n" broj utora/metar ruba grijaćeg pojasa (= broj zavoja na metar ruba), dužina namotane žice na jednom elementu iznosi:

$$l = 2 n a b \quad [m]$$

Otpor jednog elementa namotanog žicom otpora  $r \quad [\Omega/m]$  iznosi

$$R = 2 n a b r$$

Ako je "p" specifična snaga grijala u  $[W/m^2]$  (uzima se samo jedna strana grijala), snaga jednog pojasa je:

$$P = p a b \quad [W]$$

Budući da je snaga takodjer:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [W]$$

biti će

$$\frac{U^2}{R} = p a b$$

Umetnemo li još izraz za R dobit ćemo:

$$b^2 n = \frac{U^2}{2 p r a^2} \quad (\text{dimenzije kao gore})$$

Veličine na desnoj strani jednadžbe obično su poznate, ili se pak one odaberu na osnovu preporuke. Te veličine, međjutim, mogu se pri traženju optimalnog rješenja takodjer varirati. Navodimo takve pre-

poruke:

Veoma podesna žica za ova grijala je konstantan  $d = 0,45$  mm čiji otpor iznosi  $r = 3,15 \Omega/m$ . Može se međjutim upotrebljavati takodjer željezna ili čelična žica, žica od kromniklja ili kanthala itd. Širina pojasa "b" neka je negdje između  $0,15$  i  $0,25$  m. Broj pak zavoja na  $1$  m dužine ruba elementa neka je nešto veći od  $n = 100$  zavoja/m.

Na kraju se račun kontrolira obrascem za specifičnu snagu grijala:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{U^2}{R \cdot S} = \frac{U^2}{2 n a^2 b^2 r}$$

P r i m j e r .  $U = 380$  V, žica konstantan  $d = 0,45$  mm,  $r = 3,15 \Omega/m$ ,  
 $p = 4000$  W/m<sup>2</sup>,  $a = 1,1$  m (slika 73)

$$b^2 n = \frac{380^2}{2 \cdot 4000 \cdot 3,1 \cdot 1,1^2} = 4,8$$

Ako odaberemo  $b = 0,15$  m, biti će:

$$n = \frac{4,8}{0,15^2} = 214 \text{ zavoja/m}$$

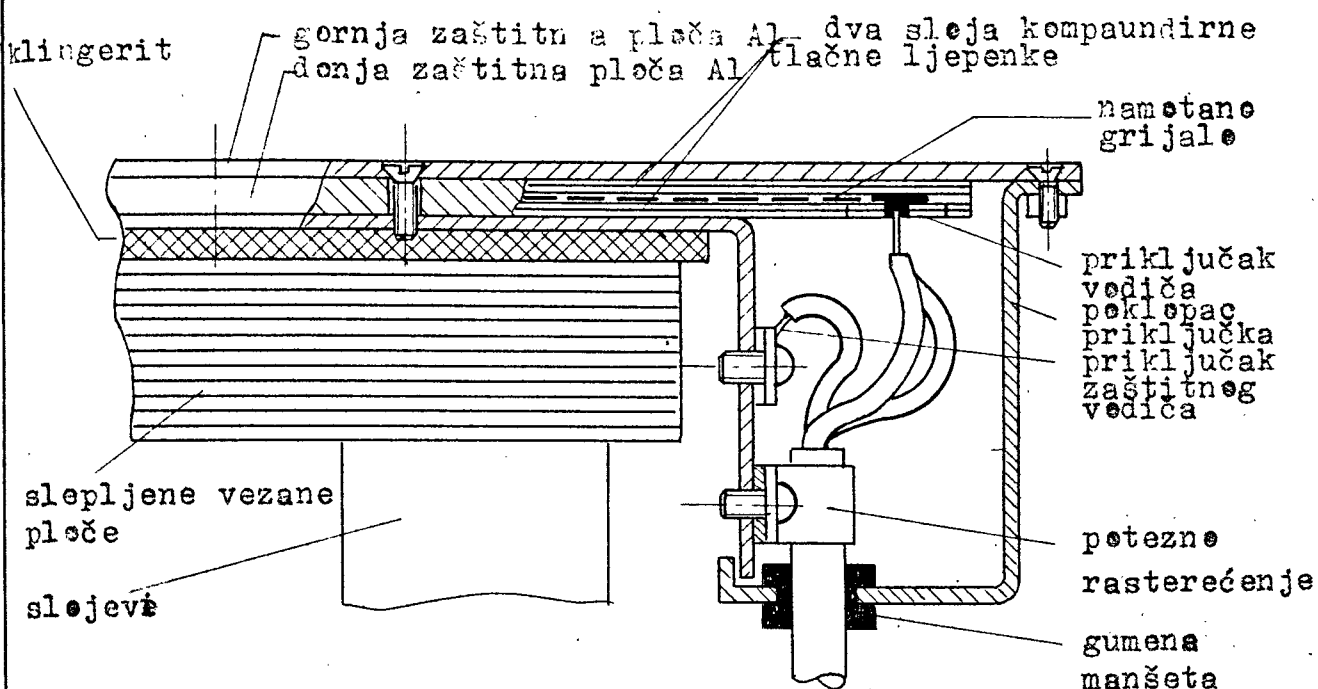
Što je donekle previše. Zato ćemo uzeti  $b = 0,20$  m i dobiti:

$$n = \frac{4,8}{0,2^2} = 120 \text{ zavoja/m}$$

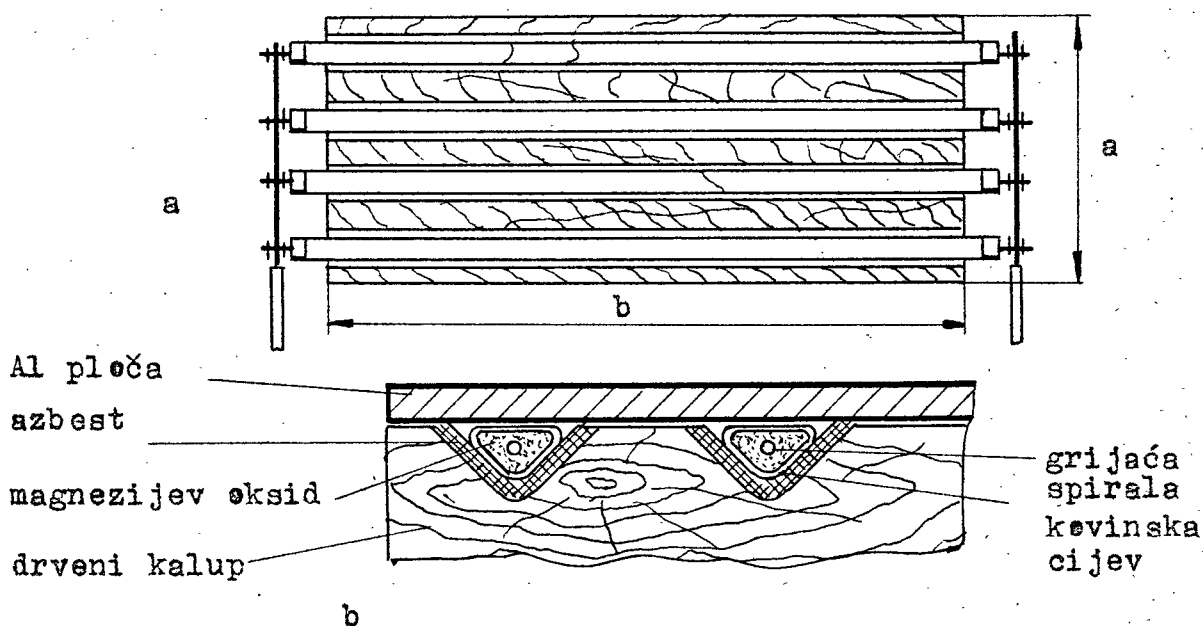
a to odgovara.

Nije prijeko potrebno da se grijaći pojasi režu popreko - grijaće plohe mogu se rezati i uzdužno, već prema tome kako bolje odgovara obliku. Isto tako bi se grijala mogla spojiti takodjer u seriji, što se međjutim izbjegava, jer inače između susjednih rubova pojasa vlada potencijal te žice ne smiju dodirivati jedna drugu.

2.4 Gumene grijaće prevlake - U Engleskoj je razvijen poseban tip gumenih grijaćih prevlaka koje se često označuju skrašenicom E.R.S. (Electrothermal Rubber Sheet). To su približno 5 mm debeli gumeni pojasi ili ploče koje imaju tačno u sredini vulkaniziranu grijaću žicu. Zapravo to nije žica, nego od svih tankih žica od otpornog materijala spletena uzica koja je znatno otpornija u pogledu loma zbog stalnog savijanja.



Slika 74. Zaštićene grijale na mreži napona. Prerez i prijedlog za izvedbu priključka



Slika 75. a) Pogled na utorske grijale s odstranjenom aluminijskom pločom. Grijala su umetnuta u utore drvenog kalupa. b) Prerez kalupa i cijevna grijala

Gumene grijaće prevlake priključuju se direktno na mrežni napon; priključci su izvedeni kao "Flexo" vodovi (vulkanizirani svi u jednom komadu). Pri pažljivoj upotrebi ne postoji nikakva opasnost da se dođe u dodir s dijelovima pod naponom. Izolacija ovih prevlaka toliko je dobra da se one mogu nalaziti u pogonu i pod vodom. Jasno je da se ne smiju kroz grijaće zone zabijati čavli.

Može se zamisliti kako su svestrano upotrebljive takve prevlake za zagrijavanje raznih krivina. Izradjuju se u dimenzijama 30 . 15 cm, 183 . 15 cm, 244 . 122 cm i u pojasima 92 . 2,5 cm, a po narudžbi i u bilo kojim dimenzijama.

Standardne specifične snage gumenih prevlaka iznose:  $1600 \text{ W/m}^2$ ,  $2700 \text{ W/m}^2$ ,  $4300 \text{ W/m}^2$ . Prva dva tipa ( $1600$  i  $2700 \text{ W/m}^2$ ) upotrebljavaju se za rad do  $100^\circ\text{C}$  i  $150^\circ\text{C}$ , a treći je namijenjen za temperature do  $200^\circ\text{C}$  ili pak za brzi postupak.

Zbog znatnog toplinskog kapaciteta grijala te prevlake dobivaju svoju radnu temperaturu tek poslije 20 do 30 minuta. Preporučuje se dakle rad sa stalnom temperaturom uz primjenu termostata. Radne pauze neka su što je moguće kraće. Trajnost ovih prevlaka iznosi oko 2000 sati, ako rade s temperaturom  $180^\circ\text{C}$ . Prevlake se mogu upotrebljavati do pritiska  $14 \text{ kg/cm}^2$ .

Gumene grijaće prevlake mnogo se upotrebljavaju u proizvodnji kutija za radio prijemnike, Pogonska temperatura iznosi  $150^\circ\text{C}$ , a vrijeme lijepljenja 3 ... 8 minuta, ovisno o debljini sloja koji treba pregrijati.

Slijedeći primjer prikazuje primjenu gumenih grijaćih prevlaka pri izradbi savinutih gornjih dijelova sjedalica.

Na 4 mm debelu jezgru od brezovog vezahog drveta dimenzija 58 . 41 cm s obje strane se nalijepe 4 komada 1 mm debelog brezovog furnira. Ovaj sastav se zagrijava 8 minuta kod  $99^\circ\text{C}$ , potom se izvadi iz preše i razreže na 4 komada. Za vrijeme zagrijavanja radnik može pripremiti sli-

jedeći sastav te prevlake mogu biti u upotrebi skoro bez prekida.

"Uskon" je američki tip gumene grijaće prevlake. Kod tog tipa grijala otporna žica zamijenjena je slojem vodljive gume koja je vulkanizirana između dva sloja obične gume. Toplina se razvija u samoj masi vodljive gume. Zato su uzduž dužih dviju stranica grijala izvedene spletnice koje dovode struju vodljivom sloju.

Ova gumena prevlaka vrlo je savitljiva i prilagođuje se radijusu od približno 6 mm, a temperaturu do  $100^{\circ}\text{C}$  postizava u 5 ... 10 minuta. Njena trajnost varira od 2000 sati kod  $100^{\circ}\text{C}$  do 200 sati kod temperature  $120^{\circ}\text{C}$ . Ako grijalo pregori, oštećena zona može se izrezati okomito na pojne žice. Preostali dio može se dalje upotrebljavati.

Doduše, sve gumene prevlake jednostavne su za rukovanje, no prilično su skupe. U nas se ne može dobiti ni jedan od spomenutih tipova prevlaka. Više o tim vrstama može se naći u niže navedenoj literaturi.

- Accelerated glue-line curing. Aero Research Technical Notes, Bulletin No. 119, Nov. 1952
- Bulletin No. 102: Washburn Electric Co., 202 Scherwood Place, Englewood, N.J., U.S.A.
- Electrothermal rubber sheeting. Electrothermal Engineering Ltd., 270 Neville Road, London, E. 7

2.5 Utorska grijala. - Ova grijala mogu se upotrebljavati tamo gdje se želi brzo preurediti obična mreža preše na topli postupak. Sve šablone i kalupi mogu ostati kakvi su bili, jedino se skine aluminijska ploča te se ispod nje gusto ispili kalup (na njemu se izrade utori) te se u utore umetnu takozvana cijevna grijala.

Cijevna grijala su 7 ... 11 mm debele kovinske cijevi od materijala koji odgovara temperaturi i svrsi. Jedna vrsta takvih grijala su zaronjiva grijala za zagrijavanje vode. Grijaće spirale koje prolaze tačno sredinom cijevi zasuta su magnezijevim oksidom i time izolirana od cijevi. Za naše svrhe bolje su cijevi trokutnog profila koje imaju bolji kontakt s aluminijskom pločom.

Ova cijevna grijala umetnu se u utore tako da imaju dobar toplinski kontakt s pločom i slab s kalupom. To se djelomično postizava time da se grijala tijesno priljube na aluminijske ploče, a od utora se izoliraju azbestom. Da bi se toplina jednoliko raspodijelila po ploči, utori moraju biti gusti ili pak aluminijska ploča debela.

Prednost ovog načina sadržena je u činjenici da cijevna grijala ne treba posebno izradjivati, jer ih izradjuje veći broj domaćih tvornica (ETA-Cerkno, Rade Končar - Zagreb, "Belt"-Črnomelj). Cijevna grijala mogu se jednostavno izvući iz utora jednog kalupa i prenijeti na drugi. Dostaje dakle samo jedna serija grijala. Tvornice izradjuju grijala u po volji dužinama do 2 m za bilo koji napon i bilo koju snagu. Možemo se odlučiti i za niski napon 42 V, da ne bi trebalo strahovati od strujnog udara, no u tom slučaju moramo nabaviti odgovarajući transformator. Odlučimo li se za mrežni napon, treba preduzeti zaštitne mjere, no one se mogu u ovom slučaju lako ispuniti. Jedno od važnih zaštitnih pravila je da se svi kovinski dijelovi pouzdano spoje sa zaštitnim vodom, čime se postizava da osigurač isklopi grijalo čim popusti izolacija.

Grijala se spajaju paralelno. Preporučuje se upotreba termostata. Na slici 75 prikazano je utorsko grijalo sa skinutom aluminijskom pločom te presjek kroz kalup.

Proračun grijala je jednostavan. Snaga jednog cijevnog grijala iznosi:

$$P = \frac{a \cdot b \cdot p}{n} \quad [W]$$

gdje je:

- a - dužina kalupa u m,
- b - širina kalupa u m,
- p - specifična snaga utorskog grijala u  $W/m^2$ ,
- n - broj svih cijevnih grijala.

Cijevna grijala koja se obično upotrebljavaju za zagrijavanje vode ne mogu se jednostavno upotrebljavati kao utorska grijala, jer je njihova snaga prevelika. Mogu se međjutim upotrebljavati ako se spoje u seriju.

Literatura:

- "Teemax" hig heaters. Adhesives & resins. Vol.1, No.6, Sept.1953.

1.2.6 Grijaći elemenat u sloju ljepila. - Ova metoda za zagrijavanje u svrhu stvrdnjavanja ljepila tehnički je najljepša od svih opisanih metoda, jer toplinu proizvodi upravo tamo gdje je ona potrebna - naime u sloju ljepila. Treba međjutim napomenuti, da se baš ova metoda najmanje upotrebljava.

Veliki je pak nedostatak ove metode da poslije stvrdnuća ljepila grijalo mora ostati u proizvodu i da za svako lijepljenje treba izraditi nove kontakte.

Obično se iz razloga sigurnost radi s niskim naponom te je potreban transformator za sniženje napona.

Mjesto napetih tankih žica Nijemci upotrebljavaju jednostavno žičanu mrežu ili pak kombinaciju tekstila i mreže. Kao osnovu uzimaju tekstil, a kao potku žicu te sve skupa impregniraju tenokom smolom (Tegowirofilm).

Pri radu treba odrezati tačan komad te mreže, umetnuti ga između komada koji se lijepe i krajeve potke priključiti na odgovarajući uapon. Nije nam poznato zašto se Tegowirofilm ne proizvodi više.

Kada se ljepilo stvrdne isklopi se električna struja i krajevi žice odrežu što bliže drvetu. Tako se krajevi žice skoro ni ne mogu opaziti. Vrijeme stvrdnjavanja ljepila može se izračunati iz podataka za brzinu porasta temperature ili pokusima.

Priličan broj neprijatnosti s kojima je popraćen ovaj postupak ne dopuštaju širu primjenu. Ovaj postupak se primjenjuje u slučajevima kada sloj ljepila leži duboko (za lijepljenje vrlo debelih drvenih dijelova) i kada se zahtijeva vrlo kratko vrijeme stvrdnjavanja. Svojvremeno se je ovaj način prilično upotrebljavao u avionskoj industriji.



- Literatura:

- A new glueing process. W.Gallay and G.G.Graham, British Plastics. Fef. and Har., 1944 pp.50-4, 103-12;
- Shortening the setting time. G.M.Scales, Structural Adhesives, pp. 67-70, Aero Research Ltd.

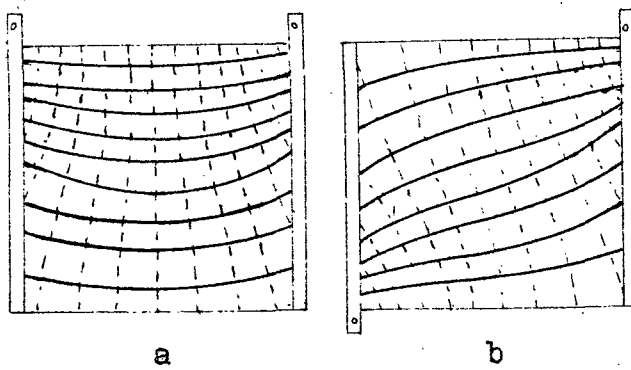
Elektrode i kontakti

U svim instalacijama niskog napona gdje se ima posla s velikim strujama posebnu pažnju treba posvetiti kontaktima. Kod plosnatih grijala jedan od glavnih zahtjeva je jednolikost zagrijavanja. No ona ne ovisi samo o jednolikoj debljini grijaćeg elementa, nego takodjer o jednolikoj raspodjeli struja po njemu.

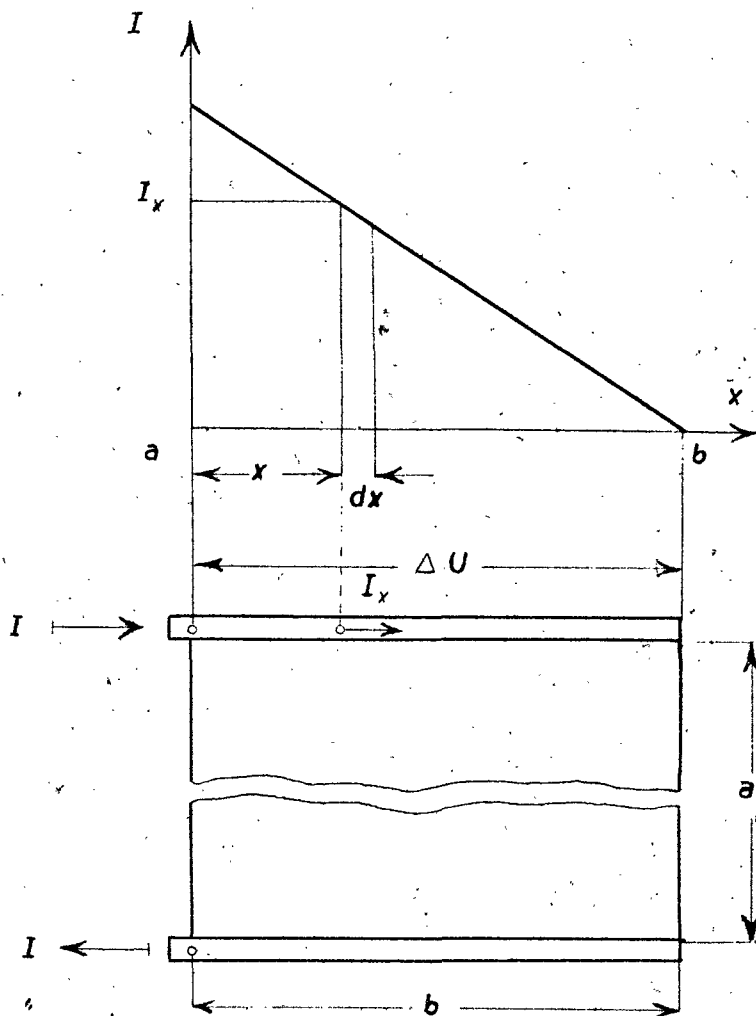
Na slici 76 prikazana je raspodjela struje po plosnatom grijalu, ako su elektrode preslabo dimenzionirane te se na njima pojavljuje prevelik pad napona. Puno izvučenim crtama na crtežu označene su strujnice, a isprekidanim crtama ekvipotencijalne plohe. U svakom na taj način nastalom kvadratiću pojavljuje se jednaka količina električne energije. Prema tome je omjer specifičnih snaga na pojedinim mjestima obrnuto razmjeran ploštini kvadratića. U slučaju koji je prikazan na slici 76 ovaj omjer iznosio bi približno 1 : 3,5. Odgovarajuće tome i temperature bi bile različite, Kod takve nejednolikosti pogon bi bio nemoguć. Slučaj (b), gdje su priključci na elektrode dijametralni, nešto je bolji od slučaja (a). Problem se rješava ispravnim dimenzioniranjem elektroda ili pak primjenom dovoda u snopovima, ako je to potrebno (v.odsjek 4.1.3.2 - Sekcionirane elektrode!).

3.1 Dimenzioniranje elektroda. - Za nejednolikost raspodjele energije po grijaćoj plohi odgovoran je pad napona u elektrodama. Praksa je pokazala da pad napona u elektrodama ne smije biti veći od 5 % napona nehomogene zone (objašnjenje u nastavku).

Pad napona u elektrodi treba dakle izračunati.



Slika 76. Tek strujnica i ekvipotencijalnih linija kroz plosnate grijale kod slabije dimenzioniranih elektroda



Slika 77. Raspodjela struje duž elektroda. Uz proračun pada napona i presjeka elektrode

Raspodjela struje I duž dobro dimenzionirane elektrode ide po pravcu, kao što se vidi na slici 77. U zbilji ta raspodjela odstupa od pravca samo za koji postotak te se zato u računima uzima jednostavno pravac. Pomoću kraćeg računa dobiva se potrebni presjek elektrode i pad napona.

$$\Delta U\% = \frac{50 \cdot \rho \cdot b^2}{S \cdot r \cdot a}$$

Potrebni pak presjek elektrode je:

$$S = \frac{50 \cdot \rho \cdot b^2}{\Delta U\% \cdot r \cdot a}$$

Ako je dužina grijala nekoliko puta veća od njegove širine, vidimo da se strujno polje prilično homogenizira već u udaljenosti koja je otprilike jednaka širini b. Predpostavimo da se nehomogena zona proteže između elektrode i crte koja je za b udaljena od elektrode. Konfiguracija polja oko elektroda neće se dakle mijenjati ako se grijalo produži dalje od  $a = 2b$ . Prema tome, gornja jednačba za  $\Delta U\%$  ne može biti karakteristična za konfiguraciju polja. Ako je  $\Delta U\%$  procentualni pad napona na elektrodama obzirom na pad napona u nehomogenoj zoni, za sve vrijednosti  $a \leq 2b$  treba uvrstiti u jednačbu samo  $a = 2b$ , da bi jednačba mogla poslužiti za izračunavanje potrebnog presjeka kod konstantnog izobličenja polja.

Prema iskustvu ne može se dozvoliti 2.5 %-ni pad napona na jednoj elektrodi. Obje elektrode dale bi dakle 5 %. Poznato nam je naime da snaga opada s kvadratom napona, te na grijalu već imamo 10% nejednolikosti u raspodjeli specifične snage. To vrijedi za slučaj  $a = b$ , kada se zone nehomogenosti obiju elektroda prekrivaju.

U slučajevima  $a \gg 2b$  zone se ne prekrivaju te se može dozvoliti dvostruki pad napona na elektrodama. Svi ti zahtjevi sadržani su u slijedećoj jednačbi, u kojoj je uzeto u obzir otprilike 4 % izobličenje raspodjele specifične snage:

$$S_{\min} = 50 \cdot \frac{\rho \cdot b^2}{r \cdot a} \quad \text{za } a \leq 2b$$

=====

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{\rho \cdot b}{r} \quad \text{za } a \geq 2b$$

=====

S - presjek elektrode u mm<sup>2</sup>, ako je kontakt na jednom kraju elektrode;

$\rho$  - specifični otpor materijala elektrode u  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ;

b - dužina elektrode = širina grijala u mm;

a - dužina grijala u mm;

r - površinski otpor plosnatog grijala u m $\Omega$  /jedinicu plohe.

Najnepovoljnije je uvijek ako se kontakt nalazi na kraju elektrode.

Čim se on premjesti na sredinu elektrode, potrebni presjek elektrode postane dva puta manji. Može se pretpostaviti da postoje dva grijala s polovicom širine b. Potom se jedna polovica računa kao da je kontakt na njenom kraju (što zbilja i jeste). Za drugu polovicu ne treba opetovati račun jer je identičan.

P r i m j e r . Za grijalo od pocinčane željezne žice br. 16 s debljinom osnove d<sub>m</sub> = 0,3 mm, čije su dimenzije 400 . 1300 mm, treba izračunati minimalni presjek elektroda, ako je priključak na sredini elektrode. Materijal za elektrode je bakar (vrući). Budući da je priključak na sredini elektrode, dužina elektrode koja dolazi u obzir za računanje jednaka je polovici dužine cijele elektrode, dakle b = 200 mm, a = 1300 mm, te je a > 2 b. Iz univerzalnog nomograma (slika 3) dobiva se za mrežu r = 0,36 m $\Omega$  /jedinicu ploštine i specifični otpor za vrući bakar.

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{0,025 \cdot 200}{3,6} = 35 \text{ mm}^2 \quad (\text{za bakar})$$

U slučaju željezne elektrode biti će:

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{0,16 \cdot 200}{3,6} = 222 \text{ mm}^2 \quad (\text{za željezo})$$

Bila bi dovoljna dva komada valjanog tračnog željeza dimenzija 2.20 mm. 6 mm = 240 mm<sup>2</sup>, između kojih bi se stisnula i zalemila mreža. Ako se u elektrode buše rupe za pričvrstne vijke, preporučuje se dodati presjeku elektroda barem polovicu presjeka koji se potroši za vijak. Tovar na povištva u Novoj Gorici, koja je stekla najviše iskustva s otpornim zagrijavanjem, upotrebljava željezo 2.35 mm.8 mm=560 mm<sup>2</sup> (za isti slučaj)

Vidimo da su elektrode obilno dimenzionirane.

Vidi takodjer primjere proračuna elektroda s dovodima u snopovima u slijedećem odsjeku!

3 Sekcionirane elektrode. - Ako imamo posla s vrlo velikim strujama koje nastupaju u limenim grijalima širokih ploha kao što su na primjer grijala za lijepljenje kutija za televizijske aparate, izrada elektroda i kontakta naročito je teška. Bez računanja padova napona i minimalnih presjeka ne smije se nikako pristupiti izradbi grijala.

U prijašnjem odsjeku smo vidjeli da je najnepovoljniji slučaj kada se kabel priključi na jedan kraj elektrode. Povoljnije je ako se on priključi na sredinu. Iz jednadžbe za pad napona vidi se da u tom slučaju iznosi pad napona jednu četvrtinu prvobitnog. Potrebni minimalni presjek iznosi u tom slučaju najmanje jednu polovicu.

Kod većih struja ide se još jedan korak dalje te se priključni kabel podijeli na veći broj žila od kojih svaka napaja svoj dio grijala. Pad napona i potrebni presjeci znatno se smanje.

Na slijedećem primjeru pokazat ćemo za jedno isto grijalo razne izvedbe elektroda i objasniti njihovu podesnost.

P r i m j e r . Za grijalo preše za kutije radio i televizijskih aparata treba konstruirati elektrode koje će osigurati dostatnu jednolikost raspodjele energije. Grijalo je od čeličnog lima debljine  $d = 1,0$  mm, dužine  $a = 1600$  mm i širine  $b = 720$  mm. Specifični otpor iznosi  $\rho = 0,35 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ , a površinski otpor  $r = 0,36 \Omega$  na jedinicu površine. Grijalo će biti u pogonu sa specifičnom snagom  $p = 5000 \text{ W/m}^2$ , naponom  $U = 2,16 \text{ V}$  i strujom  $I = 2740 \text{ A}$ .

(1) Minimalni presjek elektrode koji dozvoljava približno 4 %-nu nejednolikost raspodjele energije kod priključka dovoda na krajevima elektroda određen je obrascem za  $a \gg 2b$  (vidi obrazac u odsjeku 4.1.3.1!). Za specifični otpor toplog bakra uzima se  $\rho = 0,025 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 25 \cdot \frac{I^2 \cdot b}{r} = \frac{0,025 \cdot 720}{0,36} \\ &= 1250 \text{ mm}^2 \quad (\text{za bakar}) \end{aligned}$$

Težina obiju elektroda iznosila bi 16 kg.

(2) Minimalni presjek u slučaju da se dovod priključi u sredini elektrode (računato s polovicom širine elektrode):

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{0,025 \cdot 360}{0,36} = 625 \text{ mm}^2 \quad (\text{za bakar})$$

što je još uvijek prilično mnogo.

(3) Budući da se i struja 2740 A teško može dovesti samo jednim dovodom, koji bi uz to morao biti koliko toliko savitljiv, odlučit ćemo se za snop vodova. Uzet ćemo četiri dovoda. Svakim od njih prolazit će dakle struja 685 A, ako su žile od mjesta grananja do elektrode jednako duge, na što naročito upozoravamo. Prema tome, svaka od ove četiri žile napajati će područje široko 1/4 širine trake. Dovode ćemo izvesti na sredinu svakog područja (slika 78).

Za izračunavanje pada napona u elektrodi i za izračunavanje minimalnog presjeka biti će mjerodavna polovica širine pojasa što ga napaja jedan vod, t.j.  $b = 90 \text{ mm}$ .

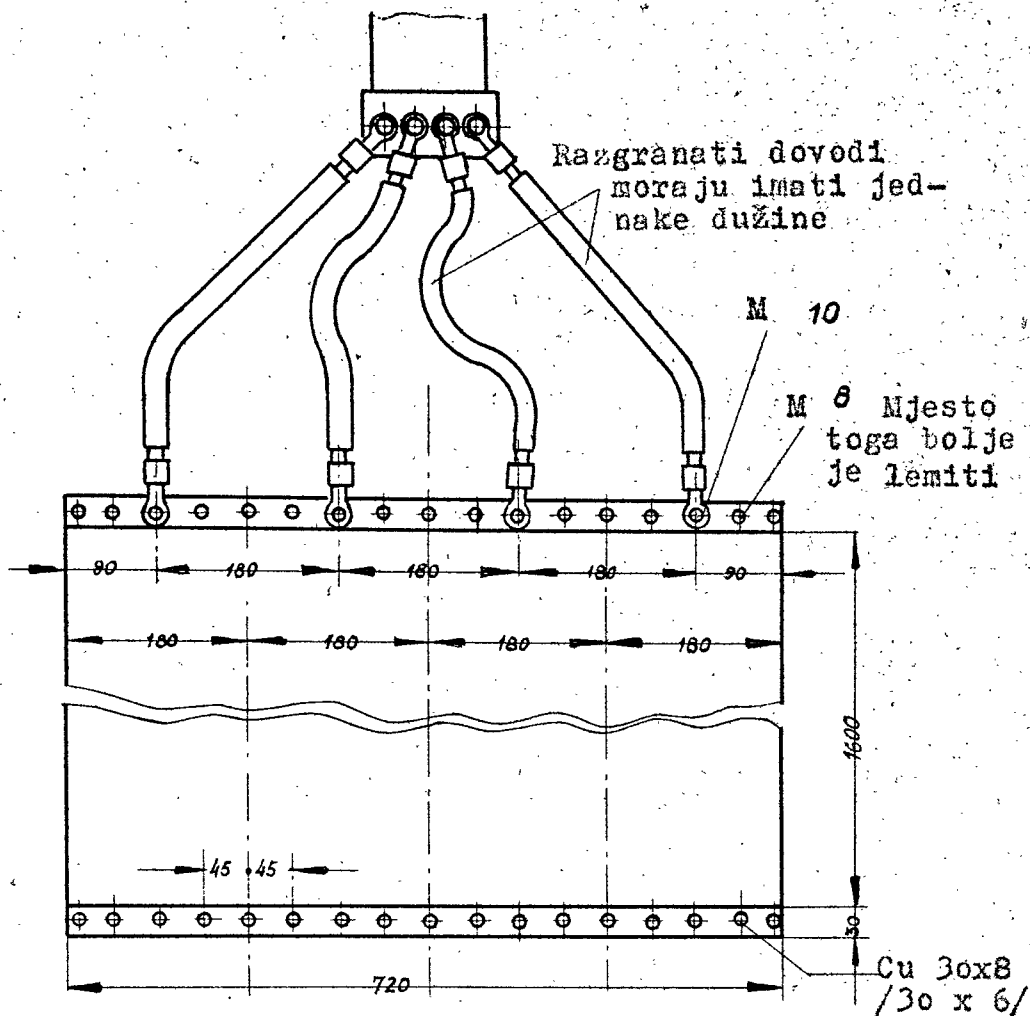
$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{0,025 \cdot 90}{0,36} = 157 \text{ mm}^2 \quad (\text{za bakar})$$

što je veoma ugodno.

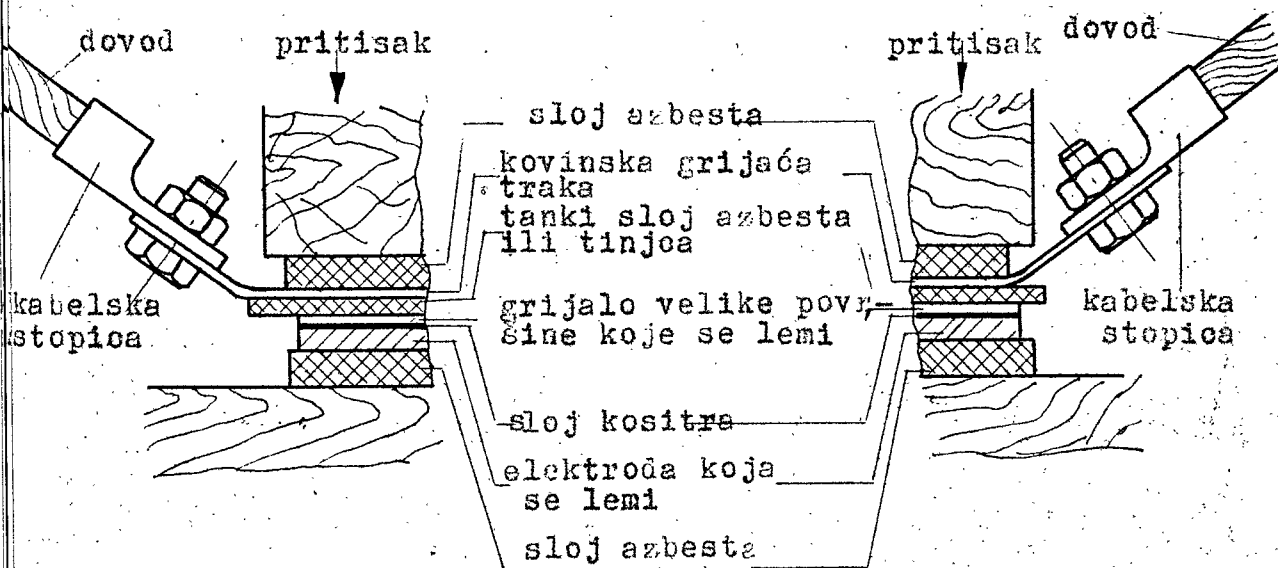
Uzet ćemo najbliži odgovarajući normirani profil, t.j.  $30 \cdot 6 \text{ mm}$ .

Njega ćemo prilemiti na čelični grijaći lim. To je najsolidniji električni spoj. Odlučimo li se za izvedbu s vijcima, zbog presjeka koji je smanjen rupama treba uzeti nešto jači profil ( $30 \cdot 8 \text{ mm}$ ).

Ne može se dostatno istaći od kolikog je značaja za besprijekorno djelovanje dobar kontakt kako elektrode s grijaćim limom, tako i kabelskih stopica s elektrodama. U našem slučaju upotrebljavamo za pričvršćenje kabelskih stopica vijak M 10, a za stiskanje M 8 s jakim čeličnim opružnim podloškama.



Slika 78. Uz proračun dimenzija elektroda plosnatog grijala za izradu kutija za televizijske aparate. Priključak razgranatog dovoda na sekcioniranu elektrodu



Slika 79. Način lemljenja elektrode i grijala u presi. Toplinu daje kovinska grijaća traka koja se zagrijava strujom

Elektrode se leme na čelični lim pod pritiskom. To se najljepše izvodi jednostavno u preši. Razumije se da prije toga treba obje površine dobro poksitriti, da se u preši dobro prilijepe. Zagrijavanje je električno. Kako se to izvodi prikazano je na slici 79.

Kositrenje obaju komada može se izvesti grijalicom, ako su komadi maleni. Ako su pak oni veći, grijalica nije više dostatna, te se kositrenje izvodi električno. Uzme se 1 m dug željezni L-profil (30.30 mm) u koji se stavi potrebna količina kositra, a prije toga se na krajevima profil sitsne i zavari da kositar ne isteče. Zatim se iz željeznog lima izreže traka (80.1200 mm) i izoblikuje u žlijeb koji odozdo pristaje na L-profil. Na oba kraja te trake pričvrste se kabeli za dovod struje. Između obaju komada postavi se tanak sloj azbesta ili tinjca te se priključi struja. Traka se zagrije, a od nje dobiva toplinu takodjer željezni profil te se u žlijebu kositar rastali. Razumije se da sve to treba poduprijeti ili pak smjestiti u neki treći žlijeb, da se ne prevrne i kositar ne razlije.

#### Dovodi

U slučaju niskonaponskih grijala dovodi mogu predstavljati prilično velike investicione troškove, velike gubitke energije i padove napona. Ako želimo smanjiti investicione troškove, povećat će se gubici, i obrnuto. Treba dakle naći neki optimum, što međjutim nije baš lako, jer odlučujuću ulogu igraju i drugi momenti, kao što su zahtjevi u pogledu savitljivosti dovoda, maksimalne temperature vodova itd. Korisno je da se u svakom slučaju vodi računa o slijedećem:

- (1) Električni dovodi (spajaju stezaljke transformatora preko eventualne sklopke sa stezaljkama grijala) neka su po mogućnosti što kraći, kako bi bili što manji i investicioni troškovi i gubici.
- (2) Obje žile (ili sve žile) neka idu što je moguće bliže zajedno, kako bi bili što manji induktivni padovi napona. Time se poveća korisna snaga transformatora (koji je možda premalen).



- (3) Treba paziti na hladjenje žila. One ne smiju prolaziti u neposrednoj blizini vrućih dijelova ili pak moraju biti položene tako da je omogućeno dobro hladjenje, jer bi se inače prekoračile maksimalne temperature.

4.1 Dimenzioniranje dovoda. - Minimalne dimenzije električnih priključnih vodova, koje su navedene u slijedećoj tabeli, određene su uzimajući u obzir zagrijavanje za  $40^{\circ}\text{C}$  iznad temperature okolice. Budući da i temperatura okolice može da postigne  $40^{\circ}\text{C}$ , maksimalna temperatura voda u tom slučaju iznosila bi  $80^{\circ}\text{C}$ .

Strujna opteretivost normalnih bakrenih užeta za nadzemne vodove koji u normalnom pogonu postizavaju nadtemperaturu  $40^{\circ}\text{C}$  navedena je u slijedećoj tabeli.

| Presjek | Struja | Promjer užeta |
|---------|--------|---------------|
| $S_2$   | I      | D             |
| mm      | A      | mm            |

|     |     |      |
|-----|-----|------|
| 16  | 115 | 5,1  |
| 25  | 151 | 6,3  |
| 35  | 174 | 7,5  |
| 50  | 231 | 9,0  |
| 70  | 282 | 10,5 |
| 95  | 357 | 12,5 |
| 120 | 411 | 14,0 |
| 150 | 477 | 15,8 |
| 185 | 544 | 17,5 |
| 240 | 630 | 20,3 |
| 300 | 747 | 22,5 |

Ako je temperatura zraka niža od  $40^{\circ}\text{C}$ , opteretivost užeta može se povećati. Opteretivost se izračuna tako, da se vrijednosti za struju po tabeli pomnože sa slijedećim korekcionim faktorom:

|                      |      |      |      |                     |
|----------------------|------|------|------|---------------------|
| - temperatura zraka: | 30   | 20   | 10   | $0^{\circ}\text{C}$ |
| - korek.faktor "k":  | 1,12 | 1,22 | 1,30 | 1,36                |

Sve te vrijednosti odnose se na trajni pogon. Ako je pogon s prekidima, što je u našem slučaju skoro uvijek, strujna opteretivost voda može se povećati na vrijednost:

$$I' = \frac{I}{\sqrt{\tau}}$$

gdje je  $\tau$  relativno uklopno vrijeme. ( $\tau = 1$  znači da je vod trajno u pogonu,  $\tau = 0,5$  pak da je vod uklopljen polovicu cijelog vremena).

Na taj način dobivene vrijednosti odabrane su vrlo oprezno. Ruski propisi dozvoljavaju čak zagrijavanje za  $50^{\circ}\text{C}$  (dakle na  $90^{\circ}\text{C}$ ). U tom slučaju treba vrijednosti za struje po prijašnjoj tabeli pomnožiti s približno 1,12.

**P r i m j e r .** Koliko se smije opteretiti bakreno uže presjeka  $95 \text{ mm}^2$  ako je u pogonu kod temperature  $20^{\circ}\text{C}$ , s relativnim uklopnim vremenom  $\tau = 0,5$  te se dozvoljava zagrijanje voda za  $50^{\circ}\text{C}$  ?

$$I' = I \cdot k \cdot \frac{1}{\sqrt{\tau}} \cdot 1,12 = 357 \cdot 1,22 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,5}} \cdot 1,12 = 690 \text{ A}$$

4.2 Polaganje vodova i izbor kabela. - Dovodni vodovi mogu biti kruti ili savitljivi. Fiksni dio dovoda može se izvesti s bakrenim profilima, najčešće u obliku traka. Pri tome treba paziti da se ne poveća induktivni otpor dovoda, jer bi to moglo prouzrokovati znatne padove napona. Zato moraju biti dovodne i odvodne tračnice što bliže jedne drugih. Između pojedinih tračnica (u slučaju trofaznog grijala su 3 ili 4) umetnu se do 1 cm debeli distantni izolacioni komadi, a zatim se sve skupa stisne izolacionim stremenima.

Treba paziti da su svi dovodi što je moguće kraći, pa stoga trakasti dovodi u većini slučajeva ne dolaze u obzir. Transformatorske stezajke spoje se s grijalima zbog male udaljenosti jednostavno savitljivim vodovima. Tu takodjer treba paziti da se ne načine prevelike petlje. Dovodni i odvodni kabel se po mogućnosti povežu.

Pri izboru takvog kabela savjetujemo slijedeće izvedbe;

- (1) Kabeli za zavarivanje. Odlikuju se izvanrednom gipkošću, jer su spleteni iz velikog broja vrlo tankih žica.

Karakteristike kabela za zavarivanje prikazane su u slijedećoj tabeli - (ZG, KzS, NSLF<sup>+</sup>) :

| Presjek | Broj  | Promjer | Debljina gumenog | Vanjski promjer |
|---------|-------|---------|------------------|-----------------|
| mm      | žica  | žica    | plašta           | ca mm           |
|         |       | mm      | mm               |                 |
| 35      | 19.15 | 0,4     | 3,0              | 15,5            |
| 50      | 19.21 | 0,4     | 3,3              | 17,5            |
| 70      | 19.30 | 0,4     | 3,3              | 19,5            |
| 95      | 19.26 | 0,5     | 3,5              | 22,2            |

<sup>+</sup> Prva oznaka je nova jugoslovenska oznaka, druga je stara jugoslovenska oznaka, a treća je njemačka oznaka VDE.

Ako smo prisiljeni da odaberemo veće presjeke, moramo uzeti vodiče za instalacije.

#### (2) Vodiči za instalacije.

- (G/A, AtG, NGAW) - gumom izolirano bakreno užje. Ovaj vodič se poznaje po crvenoj boji izolacionog opleta. Manje je savitljiv jer je pleten od debljih žica. Tvornica "Elka" u Zagrebu izrađuje ga do presjeka 185 mm<sup>2</sup>. Vodič (G, NG, NGA) potpuno je jednak prijašnjemu, jedino što mu je vanjski oplet impregniran asfaltnom masom, no koja se pri zagrijavanju lijepi i prlja te ga zato izbjegavamo.
- Vodič za instalacije spleten od velikog broja tankih žica i vrlo savitljiv (G/S, NGf, NGAF) i nešto manje savitljiv (G/M, NGm, NGAB). Izolacija kao kod G. Izrađuje se do presjeka 185 mm<sup>2</sup>.

Razumije se da se krajevi vodiča opreme (dobro zaleme) kabelskim stopicama, da bi se osigurao dobar kontakt.

4.3 Vodno hladjenje dovoda. - Kod grijala velikih površina gdje se iz bilo kojih razloga površina ne može podijeliti na sekcije te se grijaća površina mora upotrebljavati cijela, potrebna je pogonska struja od nekoliko hiljada ampera. Ako nisu potrebni savitljivi

vodovi, struja se vodi po tračnicama, ako je pak grijalo pomično, nastaje problem, kako izraditi dovode.

Dok je moguće, pomažemo si kabelima za zavarivanje i dovodima od snopova vodiča (v.prijašnji odsjek!), no ipak je katkada savitljivost dovoda od tolikog značaja da treba preći na tanke dovode. Oni se zbog velikih gubitaka, jako zagrijavaju te se moraju hladiti vodom.

**P r i m j e r .** Kao jedan primjer ekstremno opterećenog vodiča navodimo slijedeću izvedbu:

Gajtan vanjskog promjera 6,5 mm, presjeka približno  $14 \text{ mm}^2$ , spleten od ca 800 žica promjera 0,15 mm i uvučena u odgovarajuću gumenu cjevčicu koja je istovremeno izolacija i vodi rashladnu vodu. Voda dakle obliva vodič sa svih strana. Zatvaranjem slavine dozvoljavamo da se voda zagrije najviše na  $50^\circ \text{C}$ . Ako tim vodičem prolazi struja 1000 A, pojave se gubici u visini otprilike 1500 W/m dužine vodiča (!). Nije uvijek prijeko potrebno da se odaberu tako visoko opterećeni vodiči.

Ako bi dotok vode prestao, vodiči bi se odmah užarili i pokvarili, kad se ne bi već poslije nekoliko sekunda iskllopili. U tu svrhu se montira automatska sklopka koja djeluje na protok rashladne vode. Čim prestane dotok rashladne vode, posuda na čijem su dnu rupe isprazni se i podigne te isklopi dotok energije.

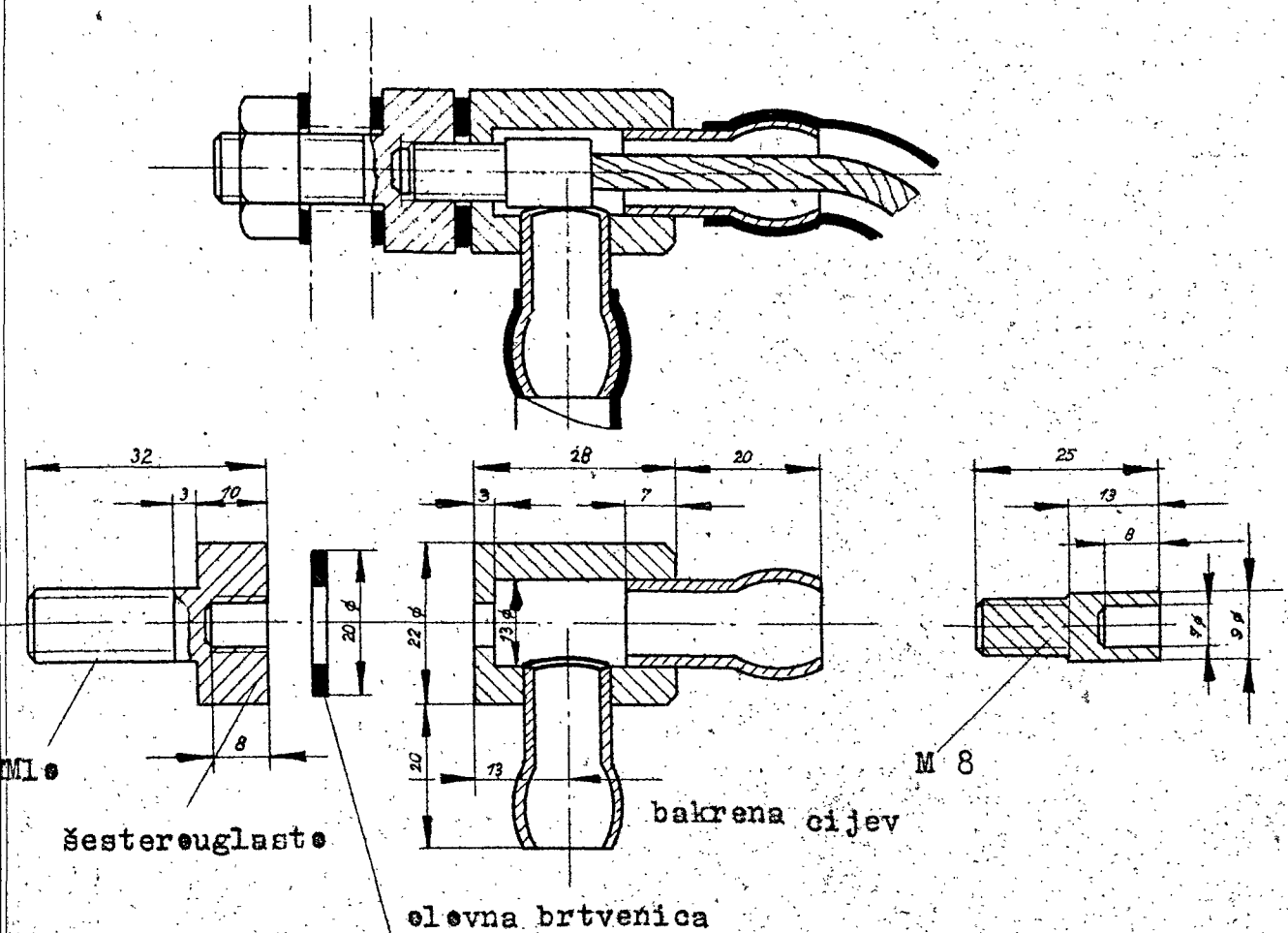
Dovodima koji se hlade vodom pripadaju takodjer posebne izvedbe stezaljki koje se takodjer hlade vodom. One mogu biti fiksne ili pak opremljene čepom za rastavljanje. Na slikama 80 i 81 vide se dvije takve ssezakke za kabel hladjen vodom. Prva je za fiksne spojeve, a druga za prekidane. Muški i ženski dio moraju biti tačno brušeni, kako bi kontakt bio bolji. Nagib čunja neka je  $1^\circ$ . Na muškom djelu nalazi se takodjer štitnik u obliku zdjelice, koja je predviđena samo zato, da muški dio štiti od oštećenja.

Naročito treba paziti da se spojevi ne rastavljaju pod naponom, jer lučni plamen uništava spojna mjesta. Uvijek se isklapa najprije na primarnoj strani transformatora.

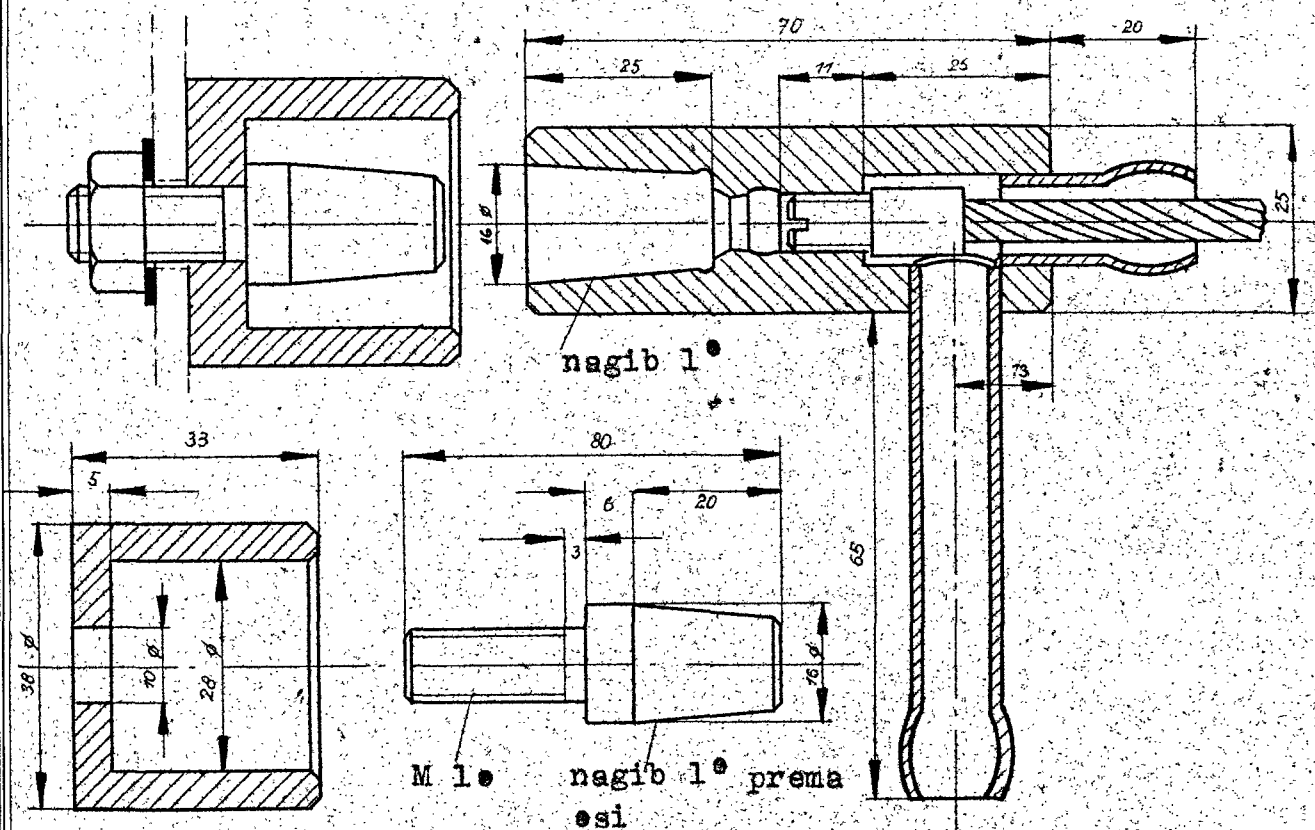
## Transformatori

Osim za namotane grijaće uloške, gumene grijaće prevlake i autor-ska grijala koja su <sup>u</sup> pogonu s mrežnim naponom, za sva ostala grijala potreban je transformator radi sniženja mrežnog napona na napon koji zahtijeva grijalo. Taj napon varira u granicama od ca 2 do 42 V.

Za naše svrhe suhi su transformatori bolji od uljnih, iako se uljni



Slika 80. Vijčana stezaljka za dovode na vodno hlađenje



Slika 81. Stezaljka na čep i utičnicu za vodno hlađenje koja se može rastaviti

transformatori mogu znatno više opteretiti. Kod transformatora za elektrootporno zagrijavanje potreban je naime uvijek znatan broj odvojaka, a izvesti toliko izvoda iz uljnog kotla bilo bi teško i uz to preskupo.

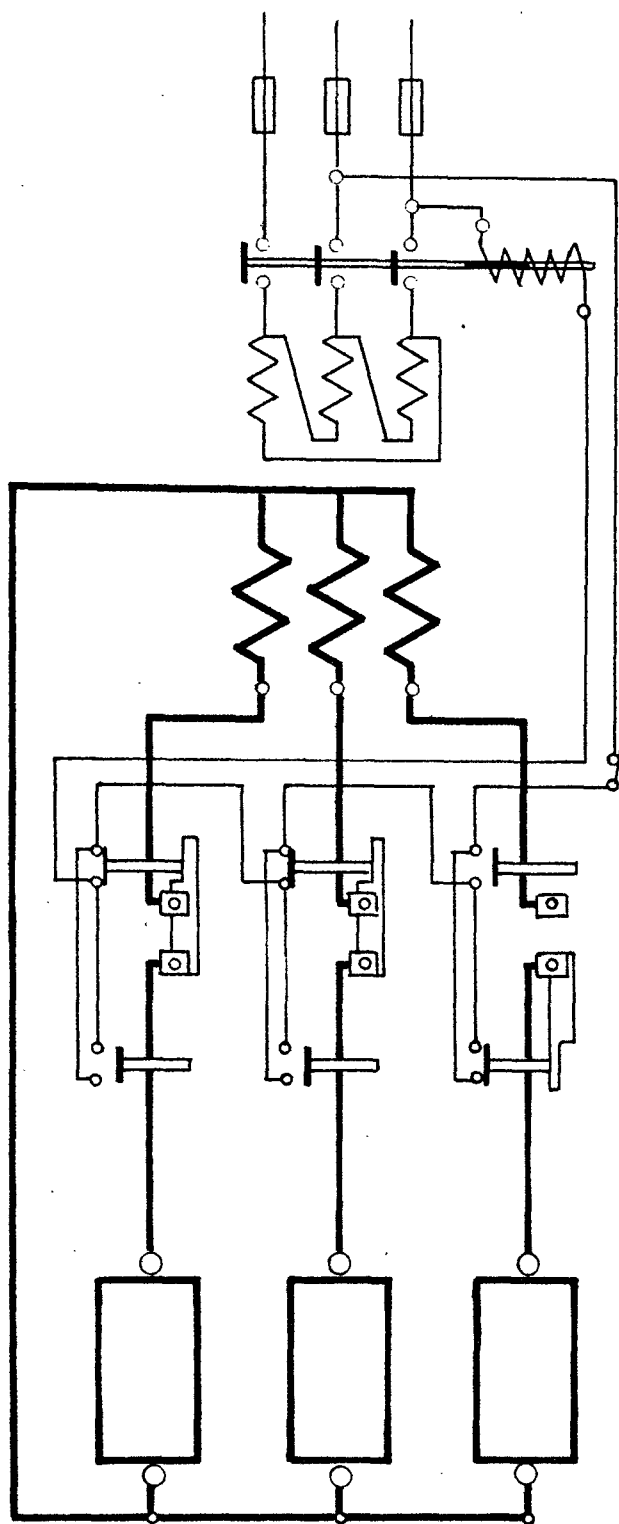
Obzirom na električnu snagu koja je potrebna uzima se transformator za priključak na jednu, na dvije ili na tri faze.

Na jednu fazu i neutralni vod priključuje se transformator do otprilike 6 kW snage. Ako je na raspolaganju trofazni priključak, transformator navedene snage radije se priključuje na dvije faze. Transformator koji se priključuje na dvije faze jednofazne je izvedbe. Takva izvedba još uvijek je jednostavna, jer do grijala vode samo dva niskonaponska voda.

Za veće snage, ili pak ako jedan transformator napaja više preša uzima se trofazni transformator.

Pri isklapanju grijala treba uvijek najprije iskllopiti transformator na primarnoj strani, jer bi inače strujni luk uništio noževe niskonaponske sklopke. Ako transformator napaja samo jednu prešu, sekundarnu stranu uopće ne treba iskllopiti. Sklopka naime predstavlja trošak, a tamo je suvišna. Pri isklapanju i preklapanju pojedinih preša koje napaja isti transformator ne može se za cijelo vrijeme pauze jednog grijala iskllopiti transformator, jer on kroz to vrijeme napaja i druga grijala koja se tada nalaze u pogonu. U takvom slučaju sklopka je potrebna i na sekundarnoj strani transformatora. Na primarnoj strani, dakle, transformator se mora iskllopiti samo pri isklapanju grijala ne za cijelo vrijeme pauze. Želimo li izbjeći skoro neizbježive pogreške, načinit ćemo pomoćni sklop koji to sprečava (v.sliku 82!). Razmotrilo li sklop vidjet ćemo da pri uklapanju i isklapanju noževa ne treba transformator na primarnoj strani posebno isklapati jer se to vrši automatski.

Ne preporučuje se amatersko izradjivanje transformatora u vlastitim



Slika 82. Pomoćni sigurnosni spoj za isklapanje pojedinih presa koje se napajaju iz istog transformatora

radionicama, naročito onih za veće snage, jer imamo dosta specijaliziranih preduzeća i tvornica ("Jambor" - Črnuče, "Tela" - Ljubljana, "Elma" - Črnuče itd). Proračun i gradnja transformatora predstavljaju posebnu struku koja ne spada u ovaj okvir. Dovoljno je, da za svoje svrhe znamo naručiti pravi transformator - a to nije jednostavno. Razmotrimo postupak!

- 5.1 Značajan podatak pri narudžbi transformatora je navedba snage. Navodi se dakle najveća snaga koja bi došla u obzir na preši ili na prešama koje će napajati transformator. Ona se dobiva tako da se zbroje snage koje se troše za zagrijavanje u grijalima i snage zbog gubitaka u dovodima.

Maksimalna potrebna snaga koja se troši za zagrijavanje u grijalima utvrđuje se time da se najveća suma svih grijaćih površina pomnoži specifičnom snagom grijala podesnom za dotičnu vrstu operacije (određivanje specifične snage - v.poglavlje 3 !).

P r i m j e r . Za neku veću prešu, čija je raspoloživa hidraulična sila tolika da dozvoljava najveću površinu prešanja  $2,0 \cdot 0,75 = 1,5 \text{ m}^2$ , želimo prirediti električna grijala tako da snaga istovremeno zagrijava gore i dolje tri proizvoda (tri etaže). Potrebno je dakle 6 grijaćih ploha po  $1,5 \text{ m}^2$ , ukupno  $9 \text{ m}^2$  grijaćih površina. Dobro razmisливši i vodeći o mogućnostima vlastite radionice računa, odabrali smo tip grijala i njegovu specifičnu snagu (poglavlje 2!)  $p = 2000 \text{ W/m}^2$ . Prema tome je maksimalna snaga grijala:

$$p_{\text{maks}} = 9 \text{ m}^2 \cdot 2000 \text{ W/m}^2 = 18\ 000 \text{ W} = 18 \text{ kW}$$

Za tako veliku snagu potreban je trofazni transformator. - Sada izračunamo gubitke u dovodima (poglavlje 2.1.1) koji iznose, na primjer, 2 kW te dobijemo snagu  $P = 20 \text{ kW}$ . Budući da transformator nije stalno uključen, obzirom na režim rada treba odrediti relativno uklopno vrijeme. Pretpostavljamo da je relativno uklopno vrijeme 0,75. Transformator mora biti izradjen za snagu  $P = 20 \cdot \sqrt{0,75} = 17,3 \text{ kW}$ . Zbog velikih induktivnih padova napona u dovodima treba uzeti u obzir takodjer  $\cos \varphi$ . Račun ovog faktora je težak zbog po volji položenih dovoda. Uzmimo da je za uobičajene konstrukcije  $\cos \varphi = 0,9$  ! Definitivna snaga biti će dakle:

$$P = 17,3 : 0,9 = 19,2 = 20 \text{ kVA}$$



Prema tome je obrazac za računanje potrebne snage transformatora:

$$P = \frac{(S \cdot p + P_{gub}) \sqrt{2}}{\cos \varphi} \quad [kVA]$$

Izbor pogonskog napona izvodi se prema smjernicama odsjeka 2.1.4

Uz ovo treba napomenuti da pogonski napon obično raste sa snagom uređaja. Struje iznad 500 A već prave smetnje zbog teških dovoda.

Budući da će se u preši upotrebljavati različite šablone i grijala, mora biti dana široka mogućnost varijacije napona. Zahtjeve u pogledu napona i naponskih kombinacija postavljamo sami (to spada u narudžbu). Treba istaći da je vrlo teško, skoro nemoguće izraditi univerzalni transformator koji bi bio podesan za priključak svih vrsta grijala naponskog opsega od 2 do 42 V i koji bi uz to kod svih napona mogao dati maksimalnu snagu. On bi bio takodjer veoma skup zbog ogromnog broja kontakta. Zato se u svojim zahtjevima ograničavamo na ono što nam je stvarno potrebno.

Za velike preše, kakvu smo na primjer opisali u posljednjem primjeru, sigurno nam neće biti potrebni naponi niži od 7 V. Stoga bi za takve preše bila veoma podesna kombinacija napona, kao što se vidi iz slijedećeg primjera.

**P r i m j e r .** Na slici 83 prikazan je eksperimentalni transformator snage 21 kVA, izradjen u Tovarni pohištva u Novoj Gorici.

Na toj slici vide se na svakom stupu niskonaponske stezaljke četiriju niskonaponskih svitaka (bakar 30 . 4 mm), od kojih svaki ima po četiri zavoja. Budući da je zavojni napon 2.5 V, napon svakog svitka iznosi 10 V. Ovi svici mogu se spajati u seriju (kukasti spojevi) ili paralelno (vertikalni spojevi), te se dobivaju slijedeći naponi i struje, određeni gustoćom u bakru  $i = 1,5 \text{ A/mm}^2$ .

|        |            |              |             |           |
|--------|------------|--------------|-------------|-----------|
| Napon  | 7,3...10 V | 14,5... 20 V | (22...30 V) | 29...40 V |
| Struja | 720 A      | 360 A        | (180 A)     | 180 A     |

Na primarnoj strani može se regulirati za otprilike 30% nadolje od nazivnog napona svakog spoja (10, 20, 30, 40 V).

Transformator se spaja na primarnoj strani u trokut, a na sekundarnoj

u zvijezdu. Regulacija na primarnoj strani izvedena je kao što je prikazano na slici 84. Nazivni naponi odnose se na odvojke kod 152. zavoja. Presjek željezne jezgre neka je  $100 \text{ cm}^2$  netto. Zbog bolje pokretnosti transformator je montiran na dva željezna kaluta, kako bi se mogao jednostavno premještati s jednog radnog mjesta na drugo. Kod fiksnih izvedbi to nije potrebno.

Budući da su sekundarni zavoji obično vrlo velikog presjeka, izrađuju se većinom od krivljenih, kovanih ili čak ljevenih bakrenih obruča (Usporedi sliku 83, gdje svaki svitak ima 4 zavoja od krivljenog bakrenog profila!). Na slici 85 prikazan je namot u kome svaki svitak ima po dva zavoja od kovanog bakrenog profila.

Još nekoliko praktičnih uputstava za pogon.

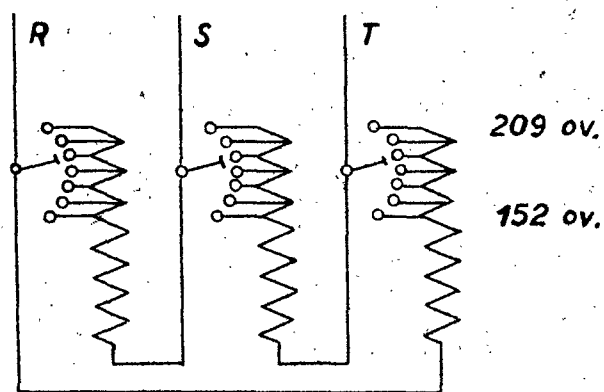
Pri preklapanju svitaka treba naročito paziti da su vijci dobro pritegnuti.

Ako se svi svici ili pak veći broj njih spajaju paralelno, dobro je da se odvod spoji na sredinu stupa. Ako se dovod priključi na krajnji svitak, bliži mostovi su previše opterećeni, a svici s drugog kraja stupa zbog grijelaznih otpora manje.

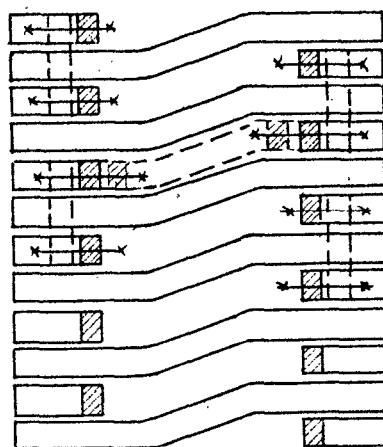
U slučaju snopa vodova priključke treba jednoliko raspodijeliti po stupu.

Kada je potreban niži napon i ne čitava snaga transformatora, preporučuje se odabrati takav spoj transformatora da on radi s najmanjim gubicima. To se postiže ako se preklopka za regulaciju na primarnoj strani postavi u takav položaj da su uklopljeni svi primarni zavoji (najmanja magnetska gustoća u željezu), no pri tome ni jedan sekundarni svitak ne smije biti izvan djelovanja. Prvi uvjet ne može se uvijek ispuniti, a drugi se može.

Naročito treba paziti da su kontakti za priključak na mrežu i regulaciju na primarnoj strani zaštićeni od slučajnog dodira nepozvanih.



Slika 84. Primarni namet eksperimentalnega transformatorja s regulacijo u trokutu



Slika 85. Namet koji se satoji od svitka s dva zaveja kovana od bakrenog profila. Vertikalni mestovi spajaju svitke paralelno, a horizontalni u seriji

Oni moraju biti pokriveni poklopcem koji se može odstraniti jedino alatom. Treba postaviti takodjer upozoravajuće natpise. Cio uređaj mora biti po propisima uzemljen ili pak priključen na zaštitni vod.

Za manje priključne snage naručuju se odgovarajuće manji transformatori. U nekim slučajevima mogu se upotrebljavati transformatori za velike struje, izradjeni u druge svrhe.

Za srednje, a i za veće snage upotrebljavaju se katkad takodjer transformatori za zavarivanje. Transformatori za zavarivanje bili bi zbog svoje kontinuirane regulacije struje za naše svrhe baš idealno rješenje, da nije njihov  $\cos \varphi$  veoma loš i da gubici u njima nisu veći nego u običnim transformatorima. Struja transformatora za zavarivanje može se regulirati u granicama od nekoliko desetica ampera do više stotina ampera.

Izveli smo mjerenje korisnosti nekih naših transformatora za zavarivanje te smo utvrdili da kod nazivnog opterećenja i radnog napona otprilike 40 V iznosi nešto iznad 60 %, dok korisnost običnih transformatora jednake snage postizava 96 %. Kod nižih opterećenja i napona oko 40 V korisnost transformatora za zavarivanje je bolja. Kod opterećenja koje je jednako jednoj polovici nazivne snage transformatora već smo očekivali korisnost oko 80%. No ako se upotrebljavaju grijala koja rade s nižim naponom, korisnost se opet smanji. Kod grijala koja rade, na primjer, s naponom oko 5 V, korisnost kod nazivne struje bila bi manja od 10 %.

$\cos \varphi$  transformatora za zavarivanje varira oko 0,4. Tvornice koje imaju posebno brojilo za jalovu struju moraju zbog upotrebe transformatora za zavarivanje plaćati prilično velike iznose za jalovu struju.

Prema tome, u uređajima koji su stalno u pogonu ne isplati se upotrebljavati transformatore za zavarivanje. U manjim pak pogonima, gdje se jalova energija ne plaća posebno i gdje transformator ne bi bio stalno priključen, nabavka transformatora za zavarivanje značila bi ko-

risnu kombinaciju, jer bi time radionica dobila takodjer aparat za zavarivanje. Transformator za zavarivanje je kod otpornog zagrijavanja uvelike upotrebljiv na svim radnim mjestima, jer je on kako u pogledu napona tako i u pogledu struje veoma prilagodljiv, a uz to je obično opremljen i s kotačima. Ponovo ističemo da u slučaju upotrebe transformatora za zavarivanje grijala treba dimenzionirati za što viši pogonski napon (oko 42 V), da bi korisnost transformatora ostala u podnošljivim granicama.

Prema podacima iz godine 1957, u Češkoj se upotrebljavaju za elektrootporno zagrijavanje isključivo transformatori za zagrijavanje, koji se opterećuju takodjer nazivnom strujom (hladjenje). Upotrebljava se jedinstveni tip transformatora za zavarivanje (260 A), koji ima ugradjen ventilator za zračno hladjenje. Mnogo hvale te transformatore. O lošoj pak korisnosti i  $\cos \varphi$  ne govore ništa.

Transformatore za zavarivanje izradjuje u nas više tvornica, medju njima "Elektroda" - Zagreb, "Jugomontaža" - Zagreb i poduzeće "Furlan" - Črnuče. Cijena tih transformatora iznosi od 170 000 do 370 000 Din za 200 -odnosno 500-amperske izvedbe. Ako je transformatoru prigradjen i kondenzator za popravljjanje  $\cos \varphi$ , cijene iznose od 216 000 do 480 000 Din za iste izvedbe. (To su cijene transformatora Ve-Ka tvornice "Jugomontaža" iz Zagreba).

Za napajanje grijala u prešama za zajedničko lijepljenje većeg broja rubova (slično kao što prikazuje slika 45) upotrebljavaju se mali jednofazni transformatori. Katkada dobro dolaze takodjer transformatori kakve upotrebljavaju limari za otkravljanje smrznutih krovnih ili vodovodnih cijevi.

Za lijepljenje pojedinih rubova može se upotrebljavati transformator za lemljenje trakastih pila, koji se nalazi u skoro svakoj stolarskoj radionici. Ti transformatori obično daju struju približno 200 A kod napona 1,5 V te se pri prekidanom

pogonu (relativno uklopno vrijeme ca 50 %) još podnošljivo zagrijavanju. Važan komad dodatne opreme je signalni sat. U većini slučajeva na radnika se ne može pouzdati da će redovno gledati na sat i tačno po "redu vožnje" isključivati i uključivati grijala. Još bolji od signalnog je isklopni sat, koji preko kontaktora na primarnoj strani transformatora sam isklupi transformator. Preporučuje se takodjer montirati signalno s v i j e t l o, koje svijetli kada je transformator pod naponom.

U tvornicama u kojima napon mreže stalno koleba preporučuje se stalno mjerenje napona ili struje grijala, kako bi se regulacijom na primarnoj strani transformatora izravnale razlike do nazivnog napona. Nisu slučajevi da napon varira takodjer za 20 %. Snaga će dakle varirati za okruglo 40 %. U takvom slučaju ne bi imalo smisla tačno utvrđivati vrijeme stvrdnjavanja itd., ako se ne bismo pobrinuli da grijala dobivaju uvijek onaj napon za koji su bili utvrđeni pogonski uvjeti.

Najjednostavnije je montirati voltmetar na sekundarne stezaljke transformatora. Još bolje je ugraditi takodjer ampermetar .

Sam ampermetar, pored kontrole o visini struje koja teče kroz grijala, omogućuje takodjer ocnjenjivanje visine temperature grijala. Budući da su grijala obično od željeza čiji je temperaturni koeficijent otpora  $5 \cdot 10^{-3}$ , struja se znatno smanjuje s porastom temperature. Razumije se da to pokazuje ampermetar. Samo jednim mjerenjem temperature grijala može se utvrditi ta ovisnost te će kod stalnog napona ampermetar pokazivati takodjer podatke o temperaturi grijala. T a k a v n a č i n i n d i r e k t n o g m j e r e n j a t e m p e r a t u r e n a r o č i t o j e p o d e š a n z a p r e š e a k o s u p a u z e i z m e d j u p o j e d i n i h r a d n i h v r e m e n a m z l i č i t e . Ampermetar nas takodjer upozorava na eventualne kratke spojeve izmedju grijala ili pojedinih dijelova grijala.

P o t r o š a k e l e k t r i č n e e n e r g i j e z a e l e k t r o o t p o r n o z a g r i j a v a n j e

U uređajima za elektrootporno zagrijavanje može biti potrošak elek-

trične energije za razne tipove grijala i za razne debljine koje se zagrijavaju veoma različiti, no ipak se u svakom slučaju može utvrditi.

Budući da nas u prvom redu zanimaju troškovi za električnu energiju koji otpadaju na  $1 \text{ m}^2$  zalijepljene površine proizvoda, taj promaćun izvesti ćemo za jedan od radnih postupaka na preši koja je prikazana na slikama 40, 41 i 72.

Preša ima već navedena uređjena kalupa  $6 \text{ m}^2$  grijaćih površina srednje specifične snage  $p = 1330 \text{ W/m}^2$ . Snaga svih grijala iznosi  $P = 8000 \text{ W}$ . Režim rada predviđa 20-minutno prešanje proizvoda, a pri tome su grijala uključena 15 minuta. S pauzama koje su potrebne za izmjenu proizvoda, na 1 sat dolaze dva ciklusa, tj.  $12 \text{ m}^2$  izradjenih površina. Specifični potrošak energije u jednom kvadratnom metru grijala i u jednoj sarži iznosi:  $w = p \cdot t = 1330 \cdot 0,25 = 333 \text{ Wh/m}^2 = 0,333 \text{ kWh/m}^2$ .

Budući da su grijala u pogonu s razmjerno niskim naponom 15 V, gubici u dovodima iznose približno 570 W. Ukupna snaga koju uređjaj dobiva iz mreže iznosi kod 95 % korisnosti transformatora:

$$P = \frac{8000 + 570}{0,95} = 9000 \text{ W}$$

Ukupni specifični potrošak energije (na  $1 \text{ m}^2$  izradjene površine) iznositi će:

$$\begin{aligned} w &= \frac{9000 \text{ W}}{6 \text{ m}^2} \cdot 0,25 \text{ h} = 375 \text{ Wh/m}^2 = \\ &= \underline{\underline{0,375 \text{ kWh/m}^2}} \end{aligned}$$

Izraženo u dinarima:

$$0,375 \cdot 12 = \underline{\underline{4,5 \text{ Din/m}^2}}$$

Budući da osim cijene za potrošene kWh treba platiti takodjer doprinos za šiljak koji iznosi 1400 Din/kW, moramo i njega pribrojiti.

Mjesečni doprinos iznositi će:

$$9,0 \cdot 1400 = 12\,600 \text{ Din}$$

U dnevnom pogonu od 10 sati izradi se svakog dana 120 m<sup>2</sup> zalijepljenih površina, ili mjesečno 3120 m<sup>2</sup>. Na 1 m<sup>2</sup> otpada:

$$\frac{12\ 600}{3120} = \underline{\underline{4,- \text{ Din/m}^2 \text{ doprinosa}}}$$

Ukupni troškovi za električnu energiju koji otpadaju na 1 m<sup>2</sup> zalijepljene površine iznose:

$$4,5 + 4,0 = \underline{\underline{8,5 \text{ Din/m}^2 \text{ zalijepljene površine}}}$$

Troškovi za 1 m<sup>2</sup> izradjene površine mogli bi se kod istog sastava spoja smanjiti na približno 7 Din/m<sup>2</sup>, ako bi se pogonsko vrijeme preše povećalo na dvije smjene. Tada bi troškovi za struju ostali isti, dok bi troškovi za šiljak iznosili:  $4,0 \cdot 10/16 = 2,5$  i prema tome ukupni troškovi:  $4,5 + 2,5 = 7,-$  Din/m<sup>2</sup>. Troškovi bi se mogli smanjiti takodjer time da se vrijeme trdnjavanja utvrdi tačnije i skrate pauze.

Iz računa doprinosa za šiljak razabire se da se povećavanje specifične snage grijala i time takodjer ukupne snage grijala može opravdati jedino ako je preša u pogonu cijelo radno vrijeme te postane usko grlo proizvodnje. Doduše, povećavanjem specifične snage grijala povećati će se troškovi za šiljak, ali povećati će se takodjer broj izradjenih kvadratnih metara proizvoda, te će troškovi koji otpadaju na 1 m<sup>2</sup> ostati približno jednaki. Ne bi imalo smisla povećavati snagu grijala, ako bi pri tome preša bila jedan dio radnog vremena izvan pogona. U takvom slučaju znatno bi se povećali troškovi za izradjeni kvadrati metar.

Vrijedi slijedeće pravilo: P r e š a r a d i n a j e k o n o m i č n i j e a k o , j e s p e c i f i č n a s n a g a g r i j a l a o d a b r a n a t a k o d a j e o s i g u r a n p o g o n b e z p r e k i d a , n o p r i t o m e t r e b a t a č n o u t v r d i t i i u z i m a t i u o b z i r v r i j e m e s t v r d n j a v a n j a . S p e c i f i č n a s n a g a m o ž e s e j e d n o s t a v n o r e g u l i r a t i m i j e n j a n j e m n a p o n a , i t o r e g u l a c i j o m n a p r i m a r n o j s t r a n i .

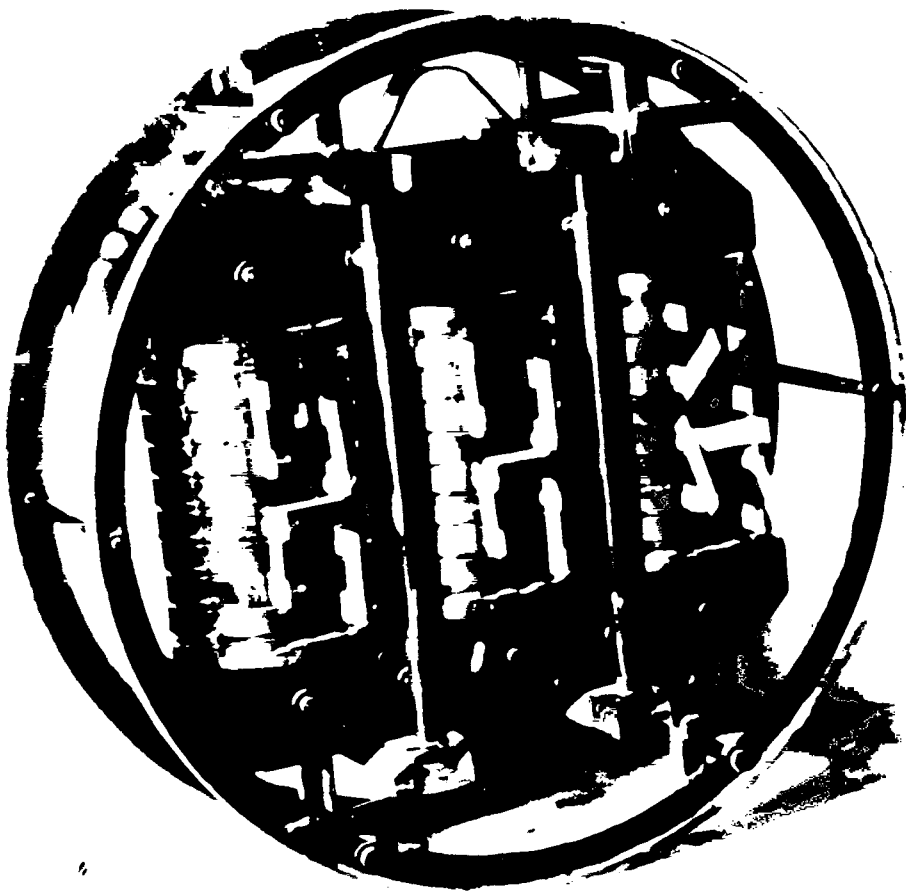
Obzirom na razne faktore koji utiču na specifični potrošak električne



energije, ovaj varira u granicama između

0,2 ... 1,2 kWh/m<sup>2</sup> izradjene površine.

Tu bi se dalo mnogo poboljšati dobrom konstrukcijom te ispravnim i preciznim režimom rada. Usporedno sa smanjivanjem troškova poboljšat će se također kvalitet proizvoda - a sve je to svrha ovog djela.



Slika 83. - Eksperimentalni transformator 21 kVA

## 5 ISTRAŽIVANJE EKONOMSKE PRIMJENE ELEKTROOTPORNOG ZAGRIJAVANJA U FINAL- NOM OBRADJIVANJU DRVETA

### 5.1 R a z v o j

S razvojem životnog standarda postale su takodjer želje potrošača drukčije i veće. Te želje u pogledu profiliranog i u oblicima razno-likog pokućstva proizvodnja nije mogla zadovoljiti niti po količini niti u pogledu cijene. S dosadanjim uređajima, strojevima i tehnološkim postupcima takvo pokućstvo nije se moglo serijski proizvoditi. Nastali su problemi dobave prvorazrednog drveta, problem dugotrajnog sušenja i premalog kapaciteta sušionica, prekomjerni otpaci i mnogo neispravnih izradjevina radi pucanja pri sušenju. problem lijepljenja okruglih rubova i slično. Iz tih razloga, kao i zbog male proizvodnje i slabe rentabilnosti narudžbe su se morale otklanjati.

Mobilizacijom i naporima tehničkih kadrova proizvedjači su morali tra-žiti nove načine i nove postupke. Pojavila se je misao da se profili-rani dijelovi pokućstva izradjuju tako da se tanji i lošiji dijelovi drveta lijepe u šablonama u blokove na traženi oblik dijela pokućstva. Na taj način postigle bi se ove prednosti:

- (1) otpala bi potreba velikih količina prvorazredne drvne sirovine te bi se smanjili veliki troškovi nabavke i transporta tih drvnih masa;
- (2) ne bi trebalo povećavati kapacitet sušionica, pri čemu bi se sma-njilo takodjer veliki potrošak toplinske energije za sušenje;
- (3) težina na taj način izradjenih drvenih proizvoda osjetno bi se smanjila, jer su oni od masivnog drveta mnogo teži nego iz sli-jepljenih letvica;
- (4) izbjegle bi se velike količine otpadaka te bi se moglo upotreblja-vati lošije, često čak otpadno drvo.

Kada je to pi tanje bilo zadovoljavajuće riješeno, iskrsao je problem kako da se izvede serijsko lijepljenje takvih profiliranih dijelova pokućstva. S postojećim parnim prešama taj se problem nije mogao riješiti jer:

- nije moguće brzo izradljivati tačne, skupe i masivne odlive;
- zagrijavanje parom skupo je i sporo;
- nejednoliko debeli profili drvenih proizvoda najednoliko se zagrijavaju te bi na tanjem dijelu već karbonizirali, dok na debljem ljepilo još ne bi vezalo;
- trebalo bi nabaviti nove preše, jer je parno lijepljenje profila naročito dugotrajno, traži velike pogonske prostorije i mnogo raznih naprava.

Poslije mnogih pokusa, rasprava i kalkulacija došlo se ponegdje na misao da se uređaji za prešanje zagrijavaju električnom strujom niskog napona. Upotrebljen je obični regulacioni transformator za zavarivanje sa zračnim hladjenjem, koji ima širok opseg regulacije struja i napona. Električnim uređajima za zagrijavanje postigle su se slijedeće prednosti:

- otpali su skupi, teški odlivi koje su zamijenili drveni kalupi i forme, izradjene glodanjem po šablوني i obložene kovinom ili gumom;
- odgovarajućom regulacijom specifične snage može se regulirati temperatura takodjer kod profila različite debljine te se temperatura može povećati čak do  $140^{\circ}\text{C}$  kod debljih proizvoda, da bi se time skratio postupak;
- dostaju postojeći uređaji za prešanje, što znači znatnu uštedu izdataka za investicije;
- omogućen je takodjer čist i tačan rad u svim prostorijama, jer nema više parnih instalacija (otpada odvođenje kondenzata, mazanje poda, tiska itd.);

- za lijepljenje svih profiliranih dijelova pokućstva dostaje samo jedan izvor niskog napona.

## 2 P r i m j e n a

Po prvi put se je zagrijavanje s niskim naponom primjenjivalo u proizvodnji lameliranih kovina za avione. Potom se je taj postupak razvio također za lijepljenje većih površina i za izradbu lameliranih savinutih konstrukcija. Međutim, ta metoda nije se pokazala kao dobra za proizvode u kojima je sloj ljepila vrlo duboko (preko 40 mm). Ako je kovinski grijači lim premalo savitljiv, upotrebljava se mreža mjesto lima. Od izvanrednog značaja i odlučujuća kod otpornog zagrijavanja je još sigurnost tog postupka, jer se sva grijala, vodovi i spojevi od izlaza iz transformatora mogu dodirivati bez opasnosti. Pa ipak se pojavljuju teškoće također i kod ovog postupka. Prva od njih je da velike grijaće površine traže vrlo jaku struju, a pri tome iskrsavaju problemi dovodjenje struje iz transformatora do elemenata grijala, dok je druga teškoća da se kod nekih tipova grijala, ili pak kod neispravno izradjenih grijala teško postizava sasvim jednoliko zagrijavanje velikih površina u svim tačkama.

Postupak elektrootpornog zagrijavanja sasvim je jednostavan i ne traži nikakva posebna pomagala. Tok zagrijavanja pri furniranju razvija se u tri stepena. Toplino najprije dobiva grijalo, s njega ona prodi- re u drvo, a odatle u ljepilo koje se stvrdjuje. Toplino bi morala prouzrokovati u cijelom komadu koji se preša pod stanovitim pritiskom dostatno stvrdnuće ljepila prije nego što se prestane s prešanjem, jer bi inače sloj ljepila mogao raspucati zbog pare koja se je u njemu sakupila. U slučaju lameliranog drveta temperatura treba da raste sporije nego pri furniranju,

## 3 U p o t r e b l j i v o s t e l e k t r o o t p o r n o g z a g r i - j a v a n j a

Kao što smo već spomenuli, upotrebljivost elektrootpornog zagrijava-

nja u s tanovitim fazama i postupcima lijepljenja skoro je univerzalna, Ono se preporučuje osobito u ovim slučajevima:

- (1) u pogonima u kojima nedostaje pare ili pak para uopće nije na raspolaganju;
- (2) za one radne operacije lijepljenja i zagrijavanja gdje su potrebne visoke temperature koje ne mogu da se postignu parnim zagrijavanjem;
- (3) za proizvode kompliciranog oblika, za koje bi bili kalupi i njihova izrada preskupi;
- (4) pri lijepljenju furnira i tanjih slojeva drveta, tako da je najudaljeniji sloj ljepila od grijala najviše 10 mm;
- (5) u postupcima koji u jednom uređaju traže razne stupnjeve temperature;
- (6) za istraživačke radove, pokuse, izradbu prototipova, za individualnu proizvodnju te za manje ili veće količine zamršenih ili pak jednostavnih operacija.

#### 5.4 E k o n o m s k e   p r e d n o s t i   e l e k t r o o t p o r n o g z a g r i j a v a n j a

Prednosti transformirane struje za zagrijavanje pri prešanju i lijepljenju mogu se ispravno ocijeniti tek poslije dužeg pogona i upotrebe. Prije otprilike tri godine počeli smo u nekoj većoj tvornici pokušava izvoditi pokuse s ovim postupkom samo na jednom proizvodu. Usavršavanjem pak i iskustvom s vremenom smo metodu lijepljenja elektrootpornim zagrijavanjem proširili na mnogobrojna radna mjesta u toj tvornici, za najrazličitije operacije i proizvode. Osim toga se je taj postupak iz te - u tom pogledu pionirske tvornice proširio te se još uvijek širi u neke druge tvornice. Pri tome je naročito razveseljavajuće da sami radni kolektivi izradjuju potrebne uređaje, usavršavaju ih i uzdržavaju. Razumije se da to ne rade uvijek dobro i racionalno, jer im nedostaje stručne i tehničke podloge - te im baš to želimo/prenijeti ovim elaboratom.

Istraživanjima i praktičnim iskustvom došli smo do zaključka da je primjena elektrootpornog zagrijavanja u finalnom obradjivanju vrlo ekonomična. Uspoređena s dosadašnjim postupcima posjeduje slijedeće značajne prednosti:

- (1) Ekonomično iskorištava energiju, jer je količina topline koja se gubi u okolicu izvanredno malena. Toplina koja se razvija u uređajima iskorištava se skoro na samom mjestu gdje nastaje.
- (2) Pogon je vrlo jeftin, jer se za zagrijavanje i lijepljenje  $1 \text{ m}^2$  proizvoda potroši oko  $0,3 \text{ kWh}$  (možda također  $0,2 \dots 1,2 \text{ kWh/m}^2$  kod nespratnih konstrukcija) električne energije. Cijena električne energije može se uspoređivati s cijenom industrijski proizvedene ili pak kupljene pare, Više o tome u poredbenoj kalkulaciji između parnog i elektrootpornog zagrijavanja na slijedećoj strani.
- (3) Svi pogonski uređaji i pomoćna sredstva za uvođenje tog postupka laki su, malih dimenzija i jeftini. Skoro sve ih može izraditi sam korisnik iz drveta i drugih domaćih materijala kojima raspolaže.
- (4) Mogu se udešavati različite temperature u stanovitom opsegu cijelog pogonskog uređaja, kao i u pojedinim njegovim dijelovima.
- (5) Ovaj postupak prodire naročito uspješno u pogone gdje se iz ekonomskih ili tehničkih razloga ne može primijeniti parno zagrijavanje.
- (6) Omogućuje uzdržavanje neuporedivo veće čistoće i sigurnosti pri radu nego parno zagrijavanje. Niski napon ovih uređaja ( $5 \dots 42 \text{ V}$ ) nije opasan ljudskom organizmu u suhim prostorijama.
- (7) Rad transformatora i svih rasklopnih uređaja sasvim je pouzdan, ako oni savjesno izrađeni, što dokazuju višegodišnja iskustva u većem broju pogona.
- (8) Rukovanje uređajem i njegovo uzdržavanje jednostavno je i jeftino.
- (9) Uvođenje ovog postupka ne predstavlja nikakve posebne investicione troškove.

# Uspoređjivanje kalkulacije proizvodnih troškova parnog i otpornog zagrijavanja

## Elektrotoporno zagrijavanje

Kao temelj pri izradbi ove poredbene kalkulacije proizvodnih troškova uzeli smo jednoetažnu, pneumatsku prešu uređjenu na elektrotoporno zagrijavanje; njene proizvodne troškove uspoređujemo s troškovima parom zagrijavane preše tipa Fritz.

Za otporno zagrijavanje navodimo jedanprimjer iz naše prakse - no koji nikako nije uzor, jer mu nedostaje cio niz usavršenja i stručnog obradljivanja. Obradljivana pneumatska preša zalijepi otpornim zagrijavanjem u 1 satu 6,7 m<sup>2</sup> po jednoj strani. Budući da lijepi površine s obje strana, izradi obostrano 13,4 m<sup>2</sup>/sat. Na taj broj oslanjamo se u našoj kalkulaciji. Već u poglavlju 4.2 utvrdili smo u kalkulaciji izdataka za potrošenu električnu struju da stoji električna energija za lijepljenje 1 m<sup>2</sup> površine proizvoda 8,50 Din, u čemu je uzeta u obzir cijena struje i doprinos.

Razčlanjena kalkulacija proizvodnih troškova lijepljenja otpornim zagrijavanjem izgleda ovako;

### (1) Otporna zagrijavanja preše u 1 satu:

13 m<sup>2</sup>/h. 8,5 Din . . . . . Din/h 110,50

### (2) Potrošak struje za pogon pneumatske preše:

3 kW .  $\frac{8}{60}$  . 12  $\frac{\text{Din}}{\text{kWh}}$  . . . . . Din/h 4,80

Potrošak električne energije za pogon pneumatske preše izračuna se tako da se snaga elektromotora preše P = 3 kW pomnoži pogonskim vremenom t = 8 min u toku 1 sata (= 60 minuta) i kapacitetom preše u 1 satu, koji iznosi 13 m<sup>2</sup> zalijepljene površine.

Treba uzeti u obzir još obračun šiljka ili mjesečnog doprinosa po 1400 Din/kW, što iznosi za mjesec dana:

$$3 \text{ kW} \cdot 1400 \frac{\text{Din}}{\text{kW} \cdot \text{mjesec}} = 4200 \text{ Din/mjesec}$$

ili na sat kod 250 radnih sati na mjesec:

$$\frac{4200 \text{ Din}}{250 \text{ sati}} \cdot \dots \text{Din/h} \quad 16,70$$

- (3) Amortizacija postojećih pneumatskih preša za vrijeme od 10 godina uz kamatnu stopu 6 %, čija vrijednost knjiženja iznosi 1 500 000 Din:

$$A = K \cdot \frac{r^n(r-1)}{r^n - 1} = 1\,500\,000 \cdot \frac{1,06^{10}(1,06 - 1)}{1,06^{10} - 1} =$$
$$= 1\,500\,000 \cdot 0,1359 = 203\,850 \text{ Din/godinu.}$$

Ako računamo na godinu 300 radnih dana s 10 -satnim radnim vremenom na dan, iznosi amortizacija preše na sat:

$$A = \frac{203\,850}{300 \cdot 10} \cdot \dots \text{Din /h} \quad 68.-$$

- (4) Šablone i modeli za 1 m<sup>2</sup> površine preše, tj. za 2 m<sup>2</sup> obostrano lijepljene površine, postoje oko 12 000 Din. Jednom šablonom može se furnirati obostrano najmanje 4000 m<sup>2</sup>. Na taj način dobivamo da stoje šablone za jedno-satni rad pri kapacitetu 13 m<sup>2</sup>/sat:

$$\frac{12\,000 \text{ Din}}{4\,000 \text{ m}^2} \cdot 13 \text{ m}^2/\text{h} \cdot \dots \text{Din/h} \quad 39.-$$

- (5) Rad na pripremanju, lijepljenju i prešanju obavljaju dva radnika, a njihov brutto radni sat zajedno sa svim dažbinama računamo prosječno Din 80.- Prema tome, u jednom satu to iznosi:

$$2 \cdot 80 \text{ Din/h} \cdot \dots \text{Din/h} \quad 160.-$$



## REKAPITULACIJA

troškova lijepljenja otpornim zagrijavanjem u pneumatskoj preši  
u j e d n o m   r a d n o m   s a t u :

|   |              |
|---|--------------|
| (1) električna energija za zagrijavanje ..... | Din/h 110,50 |
| (2) struja za pogon preše .....               | Din/h 4,80   |
| doprinos za šiljak .....                      | Din/h 16,70  |
| (3) amortizacija preše .....                  | Din/h 68,-   |
| (4) šablone-modeli .....                      | Din/h 39.-   |
| (5) radna snaga .....                         | Din/h 160.-  |
| <hr/>   |              |
| <u>ukupno troškova na jedan sat</u> .....     | Din/h 399.-  |
| <hr/>   |              |

Troškovi za 1 m<sup>2</sup> furnirane površine iznose:

$$\frac{399 \text{ Din/h}}{13 \text{ m}^2/\text{h}} = 30,7 \text{ Din/m}^2$$

=====

Ovo je cijena za 1 m<sup>2</sup> furnirane površine, ako se ona lijepi istovremeno na obje strane. Jednim prešanjem, dakle, zalijepi se istovremeno gornja i donja površina. Pri tome se u slučaju lijepljenja samo jedne površine proizvoda povećaju samo troškovi pod tačkama (1) i (4) rekapitulacije, a svi ostali troškovi ostaju isti. Zato je razumljivo da je istovremeno obostrano furniranje skoro za jednu polovicu jeftinije od jednostranog.

Ako bismo pak furnirali samo jednu stranu, kao što je slučaj kod paruog zagrijavanja u preši marke "Fritz", ti proizvodni troškovi iznosili bi

$$57,3 \text{ Din/m}^2$$

=====

U ovoj kalkulaciji nisu obuhvaćeni troškovi za ljepilo, furnir i drvo, koji su u oba slučaja jednaki te kalkulaciju ne mijenjaju.

## 2 Parno zagrijavanje

U svrhu usporedjivanja obradjujemo parom grijanu novu automatsku Fritzovu prešu, kojom se mogu lijepiti obradživani veliki, neravni proizvodi samo s jedne strane i ne s obiju, kao pri obračunatom otpornom zagrijavanju. Ova formatna preša potječe iz uvoza te je dobavljena nekim većim poduzećima. Cijena joj je oko 30 000 DM. Uzmemo li u obzir kupovinu ove preše s vlastitim devizama i s faktorom, njena dinarska vrijednost iznosi oko 13 000 000 dinara.

- (1) Električna struja potrebna za pogon preše, i to četiriju motora  $(7,5 + 1,1 + 0,8 + 0,8 \text{ kW}) = 10,2 \text{ kW}$ . Preša djeluje u jednom radnom satu samo 10 minuta, pri čemu u 1 satu potroši električne struje:

$$10,2 \text{ kW} \cdot 12 \text{ Din} \cdot \frac{10}{60} \dots\dots\dots \text{din/h } 20,40$$

Šiljak (doprinos):

$$10,2 \text{ kW} \cdot 1400 \text{ Din/kW.mjesec} = 14\,300 \text{ Din/mjesec.}$$

Kod 250 radnih sati na mjesec iznosi doprinos na sat:

$$\frac{14\,300 \text{ Din}}{250 \text{ sati}} \dots\dots\dots \text{din/h } 57,20$$

- (2) Potrošak pare u 1 satu:

$$120 \text{ kg/h} \cdot 0,82 \text{ Din/kg} \dots\dots\dots \text{din/h } 98,40$$

- (3) Amortizacija preše u vrijednosti nabavne

cijene 13 000 000 uz kamatnu stopu 6 % i vrijeme amortizacije 10 godina iznosi u 1 satu proizvodnje:

$$\begin{aligned} A &= K \cdot \frac{r^n (r - 1)}{r^n - 1} = 13\,000\,000 \cdot \frac{1,06^{10} (1,06 - 1)}{1,06^{10} - 1} = \\ &= 13\,000\,000 \cdot 0,1359 = 1\,766\,700 \text{ Din/godinu.} \end{aligned}$$

Kod 300 radnih sati na godinu i 10-satnog radnog dana iznosi amortizacija preše na sat:

$$A = \frac{1\,766\,700}{300 \cdot 10} \dots \text{Din/h } 589.-$$

(4) Nabavke i uzdržavanje guma na godinu.

Gume stoje 813 DM po 140 Din/DM i faktor 3.

Prema tome su godišnji troškovi:

$$813 \cdot 140 \cdot 3 = 341040 \text{ Din}$$

Kod 300 radnih sati na godinu i 10-satnog radnog

dana iznose troškovi za gume u 1 satu proizvodnje:

$$\frac{341\,040}{300 \cdot 10} \dots \text{Din/h } 114.-$$

(5) Modeli za 1 m<sup>2</sup> preše stoje 6000 Din. Jednim modelom

zalijepi se obostrano 2000 m<sup>2</sup>. U jednom satu zalijepi

preša obostrano 4,5 m<sup>2</sup>. Troškovi za modele u 1 satu

proizvodnje (tj. za lijepljenje 4,5 m<sup>2</sup>) iznose:

$$\frac{6\,000 \text{ Din}}{2\,000 \text{ m}^2} \cdot 4,5 \text{ m}^2/\text{h} \dots \text{Din/h } 13,5$$

(6) Prešu poslužuju dva radnika s brutto platom na

sat Din 80.- Prema tome, troškovi za radnu snagu

u 1 satu iznose:

$$2 \cdot 80 \text{ Din/h} \dots \text{Din/h } 160.-$$

$$\text{Ukupni proizvodni troškovi na sat} \dots \text{Din/h } 1052,50$$

=====

Budući da se u 1 satu furnira obostrano 4,5 m<sup>2</sup>, troškovi za lijepljenje 1 m<sup>2</sup> iznose:

$$\frac{1052,50 \text{ Din/h}}{4,5 \text{ m}^2/\text{h}} = 234,5 \text{ Din/m}^2$$

=====

Pri tome treba imati u vidu da je kapacitet ove formatne preše "Fritz" za jednu trećinu manji od preše za otporno zagrijavanje, ako ova lijepi jednostrano.

Godišnja ušteda otpornim zagrijavanjem

1 m<sup>2</sup> parom lijepljene površine na parnoj preši

Fritz stoji ..... Din 234,50

a elektrotopnim zagrijavanjem:

- kod jednostranog lijepljenja ..... Din 57,30

- kod dvostranog lijepljenja ..... Din 30,70

Ušteda

- kod jednostranog lijepljenja ..... Din/m<sup>2</sup> 177,20

- kod dvostranog lijepljenja ..... Din/m<sup>2</sup> 203,80

U slučaju preše na elektrotopno zagrijavanje, dakle,

godišnja ušteda iznosi

računajući godišnji kapacitet

- kod jednostranog lijepljenja = 18 000 m<sup>2</sup> .... Din 3 169 960.-

- kod dvostranog lijepljenja = 36 000 m<sup>2</sup> ..... Din 7 342 800.-

Prema tome, elektrotopno zagrijavanje u usporedbi s parnim zagrijavanjem jeftinije je

- kod jednostranog lijepljenja ..... 4,1 puta,

- kod dvostranog lijepljenja ..... 7,6 puta.

## SADANJE STANJE ELEKTROOTPORNOG LIJEPLJENJA U FINALNOM PRERADJIVANJU DRVETA U NAS I DRUGDJE

Da bi naši radni kolektivi mogli lakše uvoditi postupak u proizvodnju, prenosimo im nekoliko do sada stečenih iskustava, navodimo važnije izvedbe uređaja te vrste u poduzećima, kao i razne mogućnosti primjene tog postupka za izbor u industriji pokućstva.

### R a z v o j   o t p o r n o g   z a g r i j a v a n j a   u   n a s   i d r u g d j e

Na prve početke primjene elektrootpornog zagrijavanja u preradjivanju drveta nailazimo otprilike u poslednjim godinama Drugog svjetskog rata, kada je industrija naoružavanja u groznici takmičenja morala osvajati nove, naprednije postupke i težiti za novim pronalascima. Američani su taj postupak počeli uvoditi u industriju aviona. Razvijali su ga paralelno s postupkom visokofrekventnog lijepljenja za one operacije lijepljenja, u kojim se sloj ljepila nalazi blizu površine, ne dublje od 5 mm. No naročito se je taj postupak afirmirao za savijanje i lijepljenje tamo gdje je nabavka preša šablona, kalupa i drugih uređaja za zagrijavanje parom bila otežana i investicije skupe.

U Engleskoj je počelo elektrootporno zagrijavanje prodirati tek poslije godine 1950. u tehnici lijepljenja, a Zapadna Njemačka je prva u Evropi taj postupak preuzela od Američana i Engleza tek poslije godine 1953. Otada se ta tehnika savijanja, naročito za lijepljenje drveta širi u sve grane drveno-preradjivačke industrije, u prvom redu u industriju pokućstva, u industriju kutija za radio aparate, sportnih rekvizita i sl. (v.slike 51, 52, 54, 67 i 71!)

U nas su ubrzo poslije godine 1953. vršeni prvi pokusi elektrootpornog zagrijavanja pri lijepljenju. U okviru tadašnjeg Biroa za unapredjenje proizvodnje u drвноj industriji demonstrirali su taj postupak u Tovarni pohištva u Novoj Gorici drugovi inž.Vladimir Jelovac i Marjan Pengov.

Poslije su ta dva druga prikakala načela elektrootpornog zagrijavanja takodjer u praktičnoj proizvodnji sportnih potreština u tvornici "Elan" u Begunjama na Gorenjskom. Naročito ekonomičan pokazao se je taj postupak pri lijepljenju skija, ali zbog nerazumijevanja tehničkog rukovodstva obustavljeni su započeti radovi te se je na postupak zaboravilo. Ni u Tovarni pohišćva u Novoj Gorici tehnika rada po tom postupku nije prodrila te je zastala.

Tek mnogo godina kasnije - otprilike prije tri godine - tehničko rukovodstvo Tovarne pohišćva u Novoj Gorici ponovo je pristupilo pokusima da taj postupak uvede u proizvodnju i izradilo prve uređaje za lijepljenje furnira na rubovima, a potom još i za lijepljenje furnira na razne dijelove pokućstva, kao što su vrata ormara, razni pretinci, rubovi stolova, psiha, noćnih ormarića i slično. Prije su se ti radovi u toj tvornici vršili na zastarjeo, primitivan način s takozvanim "trljanjem" (Aufreibung), koji je tražio mnogo radnog vremena i stručnu kvalificiranu radnu snagu - dobre stolare.

Transformiranje električne struje s mrežnog napona na niski napon vršilo se je transformatorom, kakve je tada proizvodila elektroradionica Furlan u Črnučama. Ti transformatori su se upotrebljavali za otkravljanje smrznutih vodovodnih cijevi i zaledjenih krovnih žljebova.

Poslije obavljenih pokusa, Tovarna pohišćva u Novoj Gorici počela je - doduše još sasvim početnički i neracionalno - obavljati prije nabrojane radne operacije uz primjenu elektrootpornog zagrijavanja te taj postupak nije do danas napustila. Nasuprot, ona ga je razvila i usavršila u velikojmjeri, što se odražava takodjer u znatno nižim proizvodnim troškovima i priličnom povećanju kapaciteta. Normativ rada i materijalnih troškova lijepljenja furnira smanjio se je za četiri puta, a tome treba dodati i uštedu koja potječe odatle što sada sve te radove obavlja nekvalificirana ženska radna snaga mjesto kvalificiranih stolara. Ubrzo su se uređaji toliko pojednostavili, da su klipovi na komprimirani zrak na nekim prešama zamijenjeni gumiranim vatrogasnim cijevima.

Sličnim usavršenjima i dodacima, Tovarna pohištva u Novoj Gorici raširila je primjenu elektrootpornog lijepljenja na mnogobrojna radna mjesta, naročito na ona na kojima je prešanje s običnim hladnim ili parom zagrijavanim šablonama sporo i skupo ili gdje bi investicije usporedno s povećavanjem proizvodnje za do sada poznate uređaje bile preskupe.



Slika 86.- Razni oblici savijanja masivnog drveta otpornim zagrijavanjem.

Ista tvornica u Novoj Gorici vršila je također pokuse da bi se pomoću elektrootpornog zagrijavanja savijalo masivno drvo u razne oblike (v.sliku 86!). No poslije se ti pokusi nisu nastavili niti dalje razvijali, jer takvi proizvodi nisu njena specialnost te ih ne proizvodi. Ali zato su ti pokusi doveli do zanimljivih konstatacija i bogatih is-

kustava. Svakako bi bilo preporučljivo i imalo bi uspjeha, kada bi neka od naših vodećih tvornica savinutog pokućstva nastavila s tim pokusima. Svu tehničku dokumentaciju i bogata iskustva koje je Tovarna pohišta u Novoj Gorici stekla pokusima na tom području, ona bi rado prepustila onome koji bi se za stvar zauzeo.

Iz Tovarne pohišta u Novoj Gorici počela se je tehnika elektrootpornog lijepljenja širiti po cijeloj Sloveniji, a u posljednje vrijeme i u ostale republike naše države. Tako danas uvode elektrootporno zagrijavanje za lijepljenje i slijedeće tvornice pokućstva u Sloveniji:

- Tovarna pohišta "Brest" u Cerknici,
- Lesnoindustrijski kombinat "Javor" u Pivki,
- Lesnoindustrijsko podjetje "Savinja" u Celju,
- Tovarna pohišta "Oprema" u Mariboru,
- Lesni kombinat (za lamelni parket) u Novom mestu i
- Tovarna pohišta u Brežicama.

Na žalost, svi ti uređaji bili su konstruirani i izradjeni jedino na osnovu iskustva, bez temeljite tehničke dokumentacije. Zato neka ovaj rad tehnički obradi postojeću tehničku dokumentaciju, svede je u racionalan okvir, dopuni naučnim dostignućima i dade joj stručnu tehničku podlogu te orijentaciju, a ujedno sav materijal priredi za praktičnu primjenu.

## 2 P o g o n s k o i s k u s t v o i p r i m j e r i

### 2.1 A

U tvornici A upotrebljavao se je ispočetka za grijala pocinčani lim, no cink je pri zagrijavanju otpadao te se je na mjestima koja nisu bila pocinčana lim previše zagrijavao. Zato je pocinčani lim zamijenjen aluminijem debljine 0,1 mm koji se je po cijeloj površini zagrijavao sasvim jednoliko. Zbog otpadanja cinka karbonizirao je takodjer drveni profilni oblog šablone i nije se više priljubljivao. Odmah je



glodanjem izradjen drugi oblog te je rad nastavljen bez naročito<sup>g</sup> prekida.

Posluživanje je jednostavno, rad čist, siguran i pouzdan, obavlja ga nekvalificirana ženska radna snaga. Regulacioni transformator udešava razne stupnjeve topline pri spajanju pojedinih ili više uređaja paralelno u seriju. Budući da je njegovo hladjenje zračno, može biti stalno opterećen i ne treba ga za vrijeme rada isklapati.

Kod oblikovanih noga za stolove koji su namijenjeni za izvoz upotrebljavaju se trake od aluminijskog lima, debele 0,1 mm i široke 4 cm. Kod dužeg vremena pogona uz povećanu temperaturu pokazalo se je da pregorjeva izolacioni papir koji se nalazi između grijala i zaštitne ploče. Zato su se mjesto papira počele upotrebljavati trake od tinjčeve folije, koje podnose višu temperaturu. Na mjestima gdje se je papir rasparao dolazilo je do spoja između lima i grijala. Ako su se pojavila istovremeno dva takva spoja, dolazilo je do kratkog spoja te do uništenja zaštitne ploče i grijala.

Iskustvom je utvrđen takodjer radni efekt. U normalnim uvjetima može se izvesti u 60 minuta 6 operacijakna cijeloj traci priprema, uključivo vrijeme za pripremanje. U cijelosti bi se dakle zalijepilo:

- 6 . 6 = 36 noga na obje strane ili 18 izgotovljenih noga;
- 6 . 2 produženja i 6 . 1 gornja stolna ploča te svi ravni rubovi ploča, to jest 6 kompletnih stolova.

U jednoj smjeni je dakle zalijepljeno (obloženo furnirom) 48 kompletnih stolova.

Za 48 stolova potroši se oko 24 kWh električne energije ili, grubo uzeto 0,5 kWh za jedan sto. Potrošak struje je dakle izvanredno malen, jer se stvarno zagrijava samo zagrijavana površina, pri čemu su gubici topline u okolicu neznatni. Kod uređaja pak koji se zagrijavaju parom, gubici topline u okolicu veoma su veliki, jer su kalupi i armatura kovinski te svi toplinu predaju u okolicu. Isto tako nastaju veliki

gubici u parnim dovodima. Kod grijaćih traka rade - obzirom na gubitke - sa specifičnom snagom  $2000 \text{ W/m}^2$ .

## 2.2 B

U tvornici B lijepili su se furniri na oblikovane površine vrata noćnih ormarića, toaletnih stolova te na prednje i stražnje daske kreveta u parnim prešama. Zbog visokih proizvodnih troškova i male proizvodnje pokušalo se uvesti otporno zagrijavanje, iako je postojala sumnja da će se otporno moći lijepiti tako velike površine, naime s obje strane  $3 \text{ m}^2$ . Uzeta je stara, već dotrajala, višestazna preša u kojoj se počelo otporno lijepiti proizvode s obiju strana tako da svaka strana (t.j. gornja i donja) ima svoje grijalo.

Šablone (kalupi) su drvene, a njihovi oblozi, grijaći i izolacioni slojevi raspoređjeni su ovako:

- toplinska izolacija: klingerit debljine 3 mm;
- izravnanje hrapavosti površine: al minijska ploča, debela 1 mm;
- električna izolacija: svijetla ljepenka, debljine 1 mm;
- grijalo: izrezani aluminijski lim 0,5 mm;
- električna izolacija: svijetla ljepenka 1 mm;
- prijenos topline na lijepljenu površinu: aluminijski lim 3 mm (v.sliku 62!).

Potrošak struje na  $1 \text{ m}^2$  na obje strane prešane i lijepljene površine iznosi oko 0,9 kWh. Specifična pak snaga potrebna za lijepljenje iznosi oko  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Radni kolektiv je obzirom na dosadnja iskustva mišljenja da elektro-otporno lijepljenje posjeduje među ostalim i ove prednosti pred parnim:

- (1) kod otpornog zagrijavanja je pogonska temperatura stalna, dok pri parnom zagrijavanju varira;
- (2) radna prostorija je čista, bez uprljanih otočnih kondenzata;
- (3) kapacitet lijepljenja je veći;

(4) manji broj nesreća, jer nema pekotina prouzrokovanih parom:

(5) tačna regulacija topline.

U tvornici smatraju da se je otporno zagrijavanje pokazalo kao dobro i u slučaju većih ravnih površina i da su snjim uopće sasvim dobro uspješni.

## 2.3 C

U tvornici C uvedeno je elektrootporno zagrijavanje iako je na raspolaganju dosta pare te se na postojećim uređajima paralelno radi s otpornim i parnim zagrijavanjem. Prešaju se poklopne ploče za gramofonske kutije koje u pogledu oblika postavljaju velike zahtjeve.

Izveli su pokuse lijepljenja s tegofilmom elektrootpornim zagrijavanjem i pri tome postigli temperature čak iznad  $160^{\circ}\text{C}$  koje su potrebne za tegofilm a parnim zagrijavanjem ne mogu se postići. Razumije se da su kod tako visoke temperature drvene šablone morale biti zamijenjene aluminijskim. Postignuti su dobri rezultati kod lijepljenja kauča i sobnih sjedalica te rubova kod stolova i škrinjica.

Budući da je u proizvodnom programu cio niz manjih serija proizvoda, otporno zagrijavanje prošireno je na još lo radnih mjesta. Žale se zbog skupog uzdržavanja, čemu je uzrok neispravno odabran način spajanja grijala i vodova niskog napona. U drugim poduzećima pohvalno se izražavaju baš u pogledu jeftinog uzdržavanja, što znači da u poduzeću C nešto nije u redu kod uređaja. Teškoće im prouzrokuje također nabavka odgovarajućeg toplinsko-izolacionog materijala, koji bi drvene šablone štutio od deformacija zbog zagrijavanja.

Uskoro se namjerava uvesti elektrootporno zagrijavanje i za lijepljenje rubova na kutijama za televizijske aparate, za krivljenje okvira (plaštava) televizijskih aparata i za lijepljenje donjih rubova trodijelnih ormara.

2.4 Č

U poduzeću Č uvode otporno zagrijavanje već u serijsku proizvodnju pokućstva, i to za lijepljenje oblina i rubova na prednjim i stražnjim daskama za krevete, ormarima, noćnim ormarićima, toaletnim stolovima i za lijepljenje rubova na stranicama kreveta (slike 89 do 95). U programu imaju još otporno zagrijavanje za lijepljenje furnira na ploče stolova te na rubove i savinute prednje i stražnje dijelove kauča.

Debljina aluminijskog grijaćeg lima iznosi 0,2 ... 0,5 mm. On je s obiju strana električno izoliran prešpanom debljine 1 mm. Furnir se lijepi dvostrano. Prosječni potrošak struje na 1 m<sup>2</sup> površine lijepljene dvojnim furnirom iznosi oko 0,5 kWh, a specifična snaga 500 W/m<sup>2</sup> grijaće površine.

Jedan uređaj s grijaćom površinom 1,4 m<sup>2</sup> može zalijepiti u 8 sati 35 m<sup>2</sup>.

U drugom pogonu tog poduzeća furniraju se rubovi, lijepe nasloni za sjedalice, rubovi stolova, galerije kod vrata, ploče stolova za jelo i savinuti rubovi ploča za bifee. Izolacija zagrijavanih površina izvedena je azbestom i specijalnom gumom. Nedostaju termometri za utvrđivanje temperature u slojevima ljepila te postoji nada da će ovaj naš elaborat i u tome smislu pomoći. Upotrebljavaju se transformatori kakvi se upotrebljavaju za zavarivanje trakastih listova pile. Grijalo od aluminijskog lima izolirano je toplinski i električno klingéritom. Kontakti su bakreni.

2.5 D

U poduzeću D lijepe se rubovi oblikovanih prednjih i stražnjih dasaka za krevete, okviri toaletnih stolova, noćnih ormarića, rubovi pisaćih i konferencijskih stolova, rubovi stranica te prednjih i stražnjih dijelova za kauče, a uz to se oblikuju i ujedno lijepe oblikovane površine stranica za kutije veličine 185 . 30cm<sup>2</sup>.

Upotrebljava se regulacioni transformator snage 300 W i 7...14 V. U poduzeću hvale jednostavnu instalaciju uređaja, no žale se zbog drvenih šablona koje se pale te su često uzrok deformacija na lijepljenim površinama. Pogreška je vjerojatno u neodgovarajuće odabranoj specifičnoj snazi grijala i zato previsokoj temperaturi grijala. Navodno ni pritisak na neispravno oblikovanu površinu proizvoda nije jednoliko podijeljen. U takvim slučajevima preporučuje se pneumatsko ili hidraulično učvršćivanje uz istovremeno lijepljenje dvaju komada zajedno.

Iz svega navedenog slijedi da se elektrootporno zagrijavanje niskim naponom za savijanje i lijepljenje u industriji pokušava uspješno uvodi i da se stalno širi po našim poduzećima. Što ovaj postupak ne prodire u još većoj mjeri, vjerojatno je činjenica da ga većina poduzeća ne poznaje ili pak možda misle da mu nisu dorasla. Osim toga, poduzeća koja ovaj postupak uvode ili koja su ga već prije uvela imaju s njime stanovite teškoće, uzrok kojih su neispravno izračunana ili postavljena grijala, slabo uređenje grijaće izolacije prema zaštitnoj površini, upotreba neodgovarajućeg materijala za grijala, slabi kontakti i drugo. Svi nabrojani i drugi razlozi koji sprečavaju smjelije uvođenje ovog postupka kod nas trebalo bi da ukloni ovaj elaborat, koji ne samo što tehnički detaljno obrađuje praktičnu izvedbu postupka, nego takodjer stručno obrađuje kako se premoštavaju postojeće teškoće tamo gdje je postupak već uveden i kako se njime postizava veća rentabilnost, ekonomičnost i produktivnost.

Nije svrha ovog elaborata da prikaže da je ovaj postupak s elektrootpornim zagrijavanjem jedino podesan i ekonomičan u svakom slučaju. Na mnogim mjestima je otporno zagrijavanje dopuna postojećem parnom zagrijavanju, i to u onim fazama rada koje se ne mogu ili se ih pak ne isplati na osnovu kalkulacije obavljati parnim zagrijavanjem. Nerijetko će, međjutim, jedino otporno zagrijavanje omogućiti serijsku proizvodnju stanovitih proizvoda i njihovu ekonomičnost. Osim otpornog je naročito u veleserijskoj proizvodnji vrlo aktualno visokofrekventno zagrijavanje, koje je visoko produktivno te

se odlikuje dubinskim zagrijavanjem. Početne pak teškoće visokofrekventnog zagrijavanja kao i nedostatak ekonomskih usporedjivanja s ostalim vrstama zagrijavanja čekaju još na obradjivanje, jer je u tom pogledu i u nas i u svijetu još premalo iskustva.

Prema podacima pak iz Istočne i Zapadne Europe svjedoci smo izvanredno naglog uspona u uvodjenju elektrootpornog zagrijavanja te odatle možemo zaključivati da je taj postupak već poznat i priznat. Razumije se da bi još trebalo razraditi pogonska, sigurnosna i radna uputstva, obradjena sa stručno-tehničkih vidika i metodički upotpunjena stečenim tehničkim i pogonskim iskustvima.

## OSNOVNE TEHNIČKE PREPORUKE ZA OPERATIVU

U drvnoj industriji - naročito u finalnoj, to jest u industriji pokućstva, u galanterijskoj industriji te u industriji kutija za radio aparate itd. - zagrijavanje predstavlja vrlo bitan proizvodni faktor. Danas se zbog sve veće primjene sintetičkih ljepila sve faze savijanja i lijepljenja ne mogu više ni zamisliti bez zagrijavanja. Budući da je u nas uvođenje sintetičkih ljepila prilično zakasnilo u uspoređenju s drugim državama, i otporno zagrijavanje je postalo aktualno kasnije. Sintetička ljepila se naime stvrdnjavaju brže i kod viših temperatura (od 90 do 140°C) nego kožna. U velikim tvornicama smatra se otporno zagrijavanje kao dopuna kod već postojećih masivnih, višetažnih preša i kod jednoetažnih formatnih preša "Fritz" za oblikovane komade. Ono je podesno naročito za oblike koji traže protušablone, kao za komade koji se drukčije ne mogu lijepiti - na primjer za lijepljenje furnira na rubove, za obline i krive komade. Prije nego je pak potrebno otporno zagrijavanje u manjim pogonima u kojima nema preša. U takvim pogonima može se primjenjivati otporno zagrijavanje u običnim ručnim prešama i u postojećim uređajima.

Za elektrootporno zagrijavanje s niskim naponom potrebni su ovi uređaji:

- preše ili uređaji za prešanje,
- šablone (kalupi),
- grijala s priključcima,
- transformator.

### P r e š e i u r e d j a j i z a p r e š a n j e

Sva oprema za elektrootporno lijepljenje može se izraditi u državi ili u vlastitoj mehaničkoj radionici, sastoji se od: preše, kalupa, transformatora, kabela, spojnice i grijala.

Preša je izrađena od željezne konstrukcije i vodećeg okvira u kome se kreću drveni profilni kalupi pomoću pneumatskih valjaka. Obično su to

višeetažne preše (v.sliku 36!). U svakoj etaži nalaze se distantni ulošci s kalupima. Između kalupa i grijala umetne se još uložak od azbesta, klingerita ili sličnog materijala, koji sprečava preveliko odvođenje topline u kalup. Grijalo se pokrije još papirom, prešpanom, aluminijskom pločom ili slučnim, kako proizvod ne bi dolazio u dodir s grijalom (v. sliku 62!). Grijalo je obično sekcionirano ili je pak izradjeno od žičane mreže te bi se na proizvodu poznali otisci kad ne bi bilo tog zaštitnog sloja.

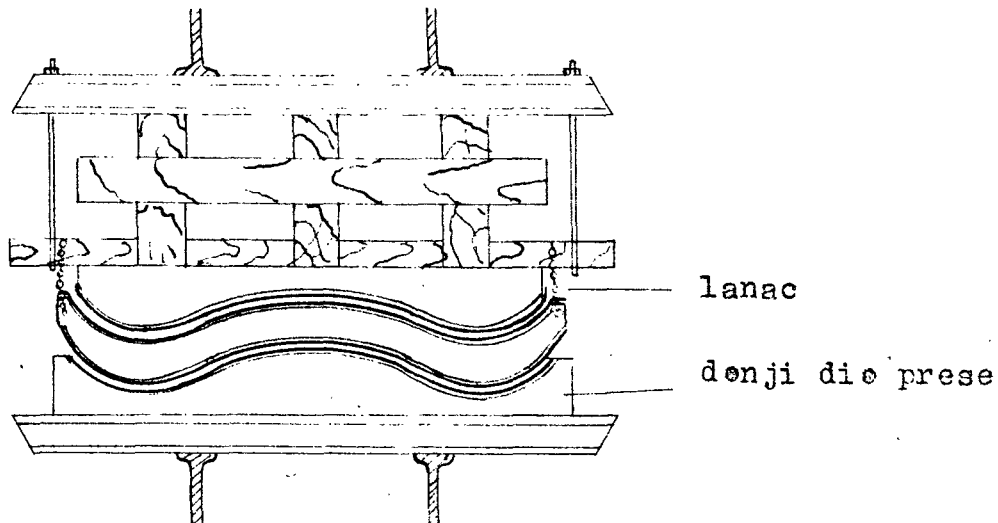
Za prešanje oblika i valovitih rubova kod stolova, ormara i slično upotrebljavamo iste uređaje za prešanje kao do sada, jedino što se u njih ugrade limena grijala. Grijala su pričvršćena na zidove uređaja te su toplinski zaštićena s vanjske strane. Više uređaja spoji se samostalno svaki posebno ili pak svi u seriji na transformator. Presjek spojnih kabela koji moraju biti savitljivi (elastični, meki), neka bude dovoljno velik, kako se kabeli ne bi previše zagrijavali.

Pri izradbi profiliranih uređaja za prešanje i lijepljenje furnira ili masivnih blokova treba računati s debljinama uložaka i grijala koji se stavljaju u matricu i patricu, da bi se poslije montaže dobio ispravan raspored za prešani proizvod. Kalupi se obično izrađuju od masivnog drveta ili se pak oni lijepe od bukovih letvica na odgovarajući oblik i veličinu. Izolacioni ulošci postavljaju se tako da se ne rasparaju ili drukčije oštete. Grijala se obično ulažu slobodno, no u slučaju kompliciranijih oblika također se pričvršćuju na kalup.

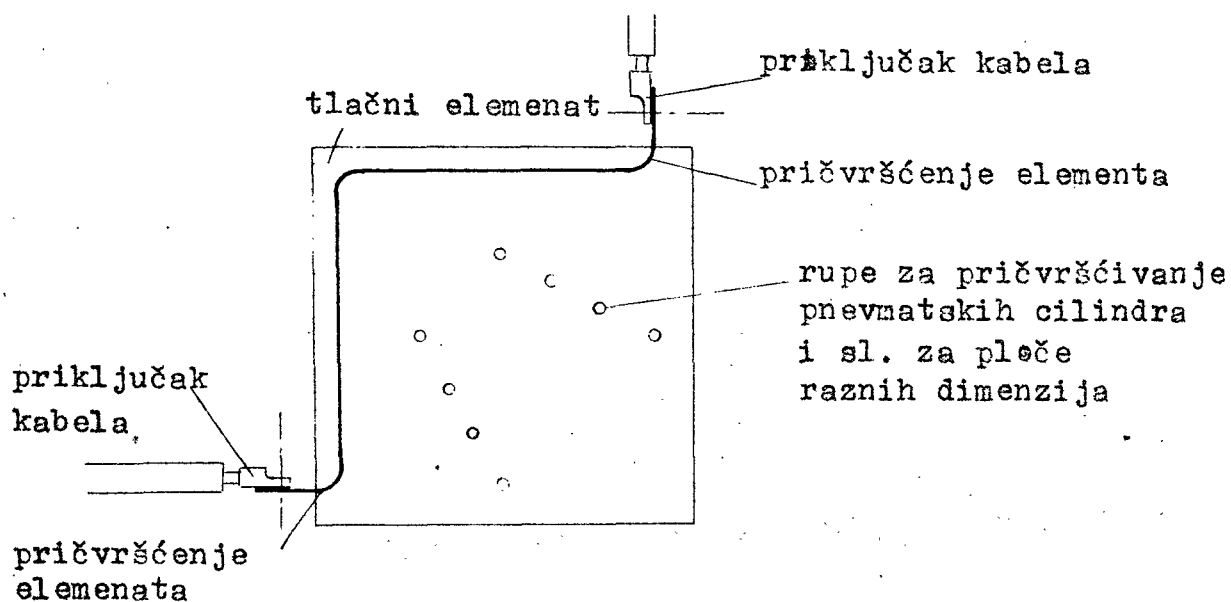
Proizvodi se sastavljaju i učvršćuju u preše te prešaju pritiskom 5...6 kg/cm<sup>2</sup>. Veliki i teški ukrivljeni proizvodi lijepe se u hidrauličkim prešama (slike 59, 67, 70, 90 i 91).

U etaže preše mogu se postavljati razne šablone te se istovremeno može prešati dva, tri ili više proizvoda. Sa strana su šablone učvršćene lancima (slika 87!), da se preše pri otvaranju šablone dignu i da se mogu odstraniti prešani komadi. Ti lanci su neke vrste vješalica za šablone.

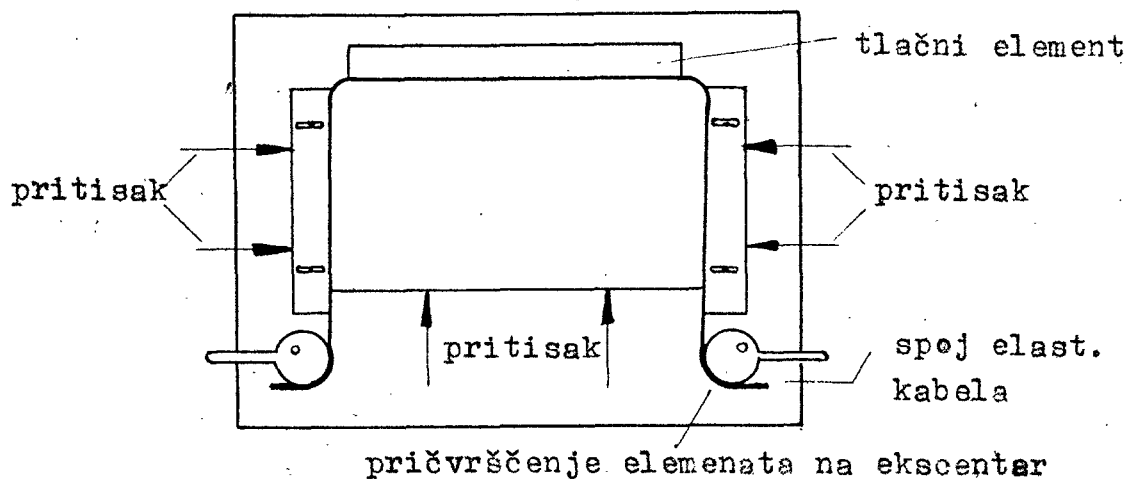




Slika 87. Upinjanje i konstrukcija oblikovanih šablona



Slika 88. Istovremeno furniranje dva rubova ploča različitih dimenzija



Slika 89. Model za istovremeno furniranje triju rubova

Oni se obuku u polivinil ili gumu, kako ne bi došli u neposredni dodir s električnim priključcima. U slučaju krivih šablona u etažama nisu potrebna nikakva vodila, jer same krivine povuku jednu šablonu u drugu.

Za dijelove pokućstva najpodesnija je preša čije su ploče za prešanje dimenzija 2300 . 1100 mm, imaju 1000 mm otvora pri dizanju u visinu i 400 mm hoda tlačnih klipova. Imati moraju 5...6 kg/cm<sup>2</sup> pritiska. Veće preše imaju hidrauličke klipove kao obično.

Za lijepljenje furnira na rubove, na primjer kod vrata pokućstva, kod police i slično te kod lijepljenja svih uskih ravnih ploha podesni su komiti uređaji za prešanje koje prilagodimo pojedinim vrstama rada i oblicima proizvoda (slike 42,90,91,93). Ako se isti komad furnira na obje suprotne strane, grijaći elementi ugrade se na oba tlačna prislona, čime se istovremeno zagrijavaju obje strane. Za proizvodnju pritiska upotrebljavaju se zračni klipovi ili mjehovi priključeni na postojeći kompresor. Presjek tih zračnih klipova iznosi 80...120 mm, a njihov pomak (hod) 50...200 mm, već prema tome kako traži debljina i veličina lijepljenog proizvoda.

Zaobljeni rubovi - npr. za vrhove i podove ormara, noćnih ormarića, psiha, kutija za radioaparate i sl. - furniraju se na željeznom stolu sa stranicama 2800.1300 mm. Na tom stolu nalazi se ploča od 16 mm debelog željeznog lima, u koju se provrtaju otvori u jednakim razmacima, kako bi se uređaj za prešanje mogao namjestiti na po volji veličini (slika 88). Pritisak se proizvodi s dva klipa na komprimirani zrak ili posebnim pak polugama ili ekscentrima (slika 47). Sve je postavljeno tako gusto da se dobije približno 3...4 kg pritiska na 1 cm<sup>2</sup> površine koja se lijepi.

Zračni mijeh je naročito podesan za lijepljenje furnira na rubove. To je obična vatrogasna cijev, iznutra prevučena gumom, koja ima dimenzije vatrogasnih cijevi A, B i C. Po dužini cijev se odreže prema dužini proizvoda i na krajevima stisne između dva poločasta podložka vijcima M 10. Na podesnom slobodnom mjestu ugradi se u tu cijev dovod odnosno odvod za

zrak. Prije toga se umetne u tu gumiranu vatrogasnu cijev još 7 mm deblja letva od vezane ploče, koja je toliko široka koliko unutrašnji promjer cijevi, ali za 5 cm kraća od dužine dijela cijevi slobodnog za zrak (slika 46!). Ovaj umetak u cijevi sprečava da se cijev učvrsti i jednoliko rasteže. Takve cijevi i slični "mjehovi" su jeftini, no ipak izvanredno praktični, jer jednoliko raspodijele pritisak, lijepo se prilagođuju predmetu i zauzimaju malo mjesta. Istina je da je hod cijevi malen, to jest da je cijev male rastegljivosti širine, no taj nedostatak može se uklopiti mehaničkim dodacima ili pak mjehovima većeg volumena.

### M o d e l i , š a b l o n e , k a l u p i

Ove sprave nije teško izradjivati, važno je jedino da su izradjene tačno, da izdrže potrebni pritisak i da drže grijalo u položaju za ispravno zagrijavanje. Obično se izradjuju od drveta, jer je ono jeftino i lako. Medjutim, ono nije trajno, jer se zbog temperature lako deformira. Za prešanje ravnih površina, rubova i slično upotrebljava se vezano bukovo drvo od letvica debljine 25 mm, te se obradi na dimenzije koje traži veličina proizvoda. Na rubovima su šablone izvana pričvršćene na tlačnu armaturu ili uređaja za prešanje. S unutrašnje pak strane, koja pritiskuje na predmet, šablone su obložene izolatorom topline - azbestom, sintetičkom gumom, pusti, staklenom vunom ili sličnim materijalom - da se toplina ne bi bez potrebe gubila u masu šablone. Ovaj izolacioni oblog obloži se katkad još gumenim oblogom, na primjer starom toplinsko-otpornom gumom iz formatne preše, koja neutralizira površinske neravnosti furnira koji selijepi.

Nasuprot toj unutrašnjoj strani šablone smješten je pomični tlačni element, preko kojega se proizvodipritisak na lijepljeni proizvod koji se time pritiskuje na šablonu.

Na krivim šablonama za prešanje raznih oblikovanih predmeta (slike 67, 70 i 97) izrade se najprije donja poprečna rebra od masivnog drveta,

a potom uzdužne tanje letvice te oboje stvara solidnu konstrukciju temelja, koji je dostatno elastičan da se prilagođuje rastezanju i djelovanju drveta kod raznih temperatura koje se pojavljuju pri radu. Ako postoji takav temelj, mogu se izraditi šablone raznih oblika jer on pruža prilično glatku plohu, a to je od velikog značaja za kvalitet rada. Svi čavli i vijci te spojnice kojima se spajaju šablone moraju biti na unutrašnjoj grijaćoj strani udubljeni pod površinu barem za 3 mm, kako ne bi došli u dodir s grijaćim elementima kroz koje teče struja. Pri izradbi šablona za manje preše treba naročito paziti da se tačno oblikuju nagibi i udubine; na taj način se tlak jednoliko raspodijeli po cijeloj površini. Ako šablona nije tačno izrađena, prilikom prešanja proizvod klizi na stranu. Ako se usprkos pomljivo izrađenoj šabloni pojavi to klizanje, postavle se uz stranice proizvoda i šablone jaki drveni ili željezni prisloni.

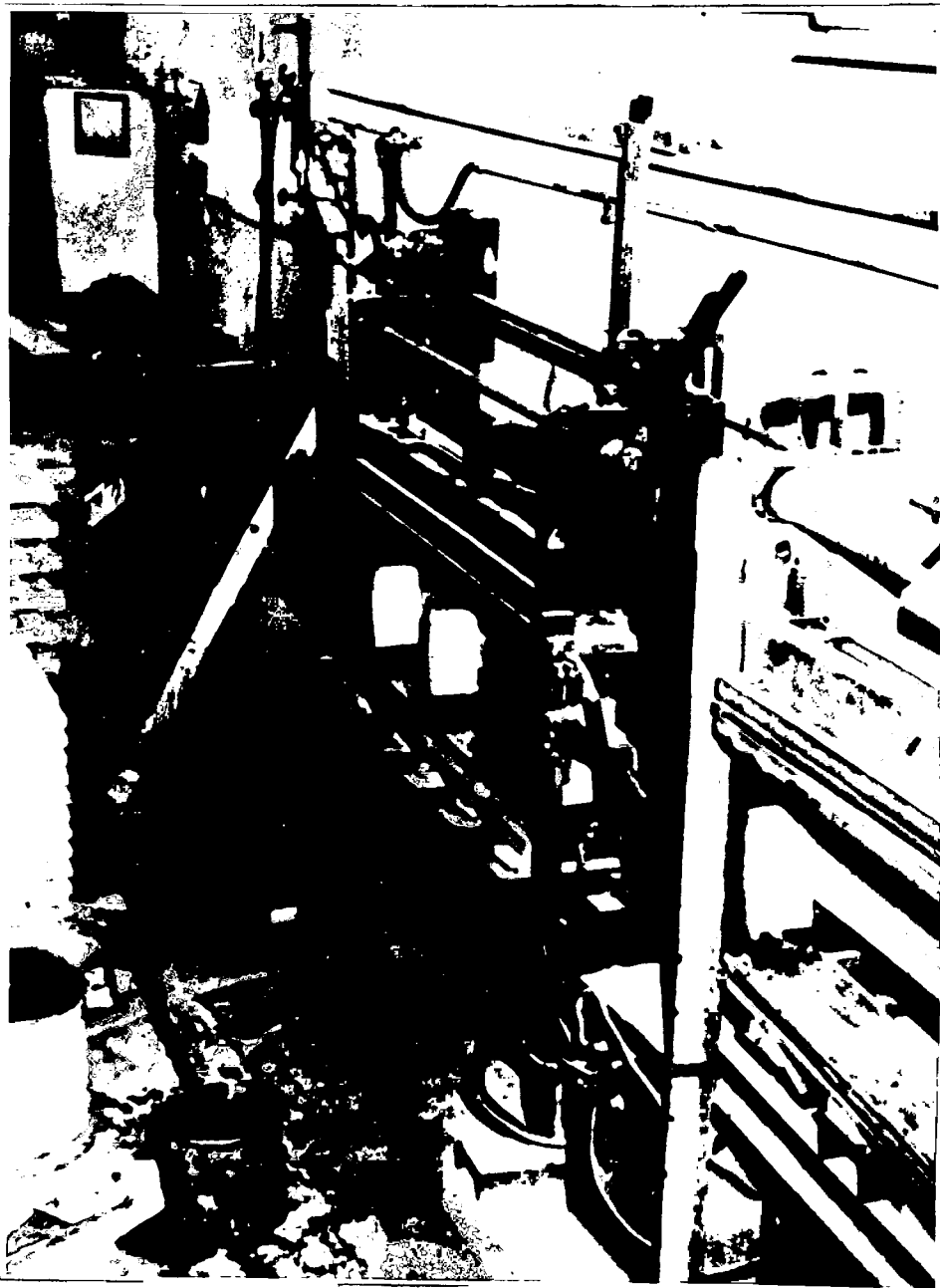
Pri izradbi šablona treba paziti da rubovi grijala ne dopiru preko ruba prešanog proizvoda za više od 2...3 cm. To je od značaja naročito kod velikih površina, jer rubovi grijala koji nisu stisnuti između šablone i proizvoda ne mogu predavati toplinu zbog čega se previše zagriju, a to prouzrokuje da pregore šablone i ljepenke. Slične teškoće se pojavljuju kada se šablone ne priljubljuju po cijeloj površini. Na tim praznim mjestima grijalo lebdi i ne predaje toplinu. To se najčešće dešava u slučaju starih, već deformiranih šablona.

Na tako toplinski izoliranu unutrašnju stranu šablone dolazi grijaći sloj šablone koji se sastoji (slike 62,68) od:

- donje tlačne ljepenke (prešpana) 1 mm,
- grijala (grijaćeg elementa),
- gornje tlačne ljepenke (prešpana) 0,5 mm,
- aluminijske ploče za izravnanje.

D o n j a   t l a č n a   l j e p e n k a   je debela 1 mm te je još jednom deblja od gornje. Njen zadatak je da šablonu izolira od električne struje i topline koje potječu iz grijala. Osim toga ona izravnava i manje po-

vršinske razlike koje nastaju zbog eventualne deformacije letvica šablone i njenih izolacionih obloga. Ti izolacioni slojevi ljepenke ne mogu se pričvrstiti posebno na šablonu.



Slika 90. - U pogonu preradjena s tara preša s transformatorom u sredini.

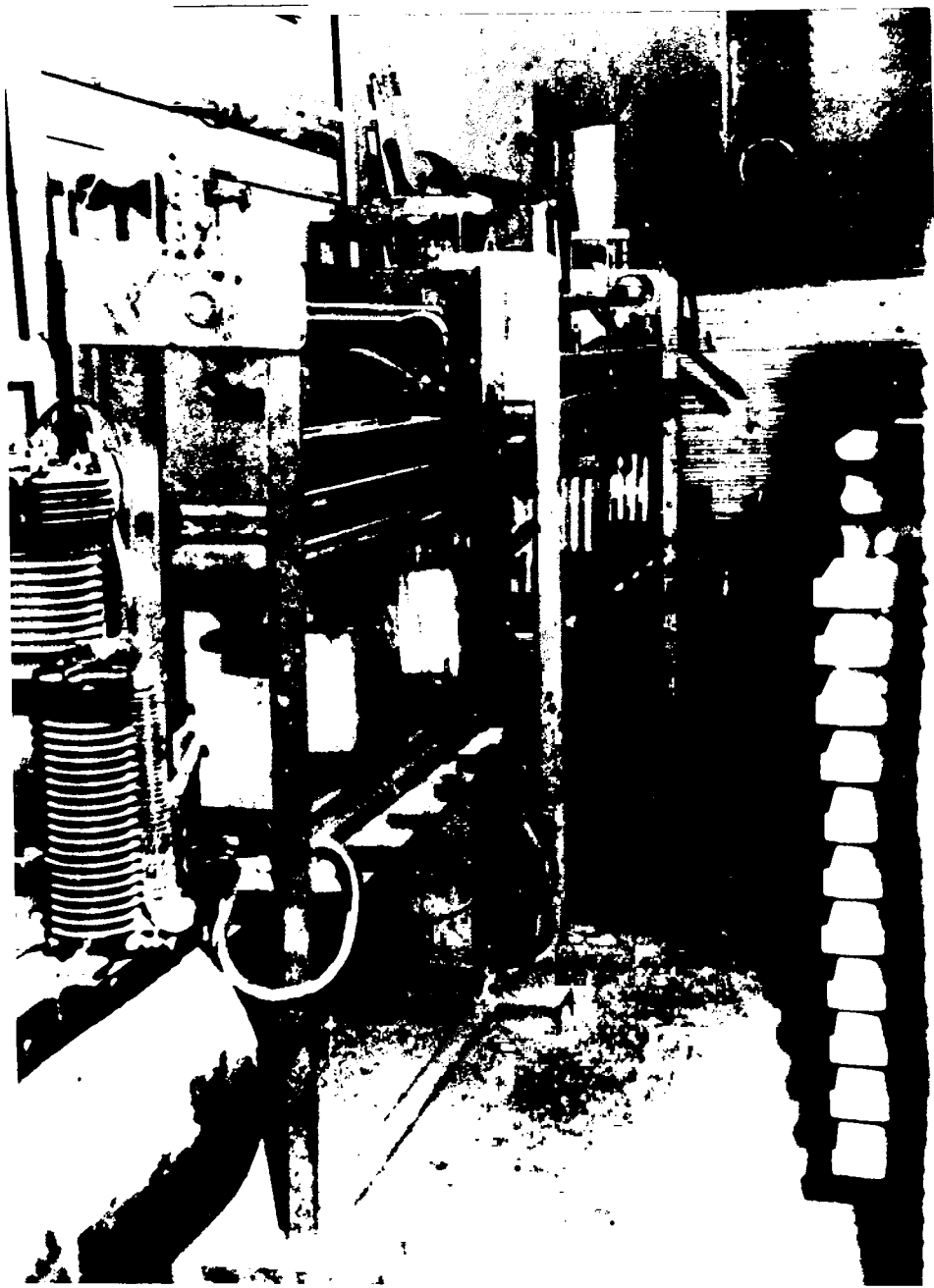
G r i j a l o dolazi na taj sloj ljepenke. Vrste grijala, njihov materijal i njihova posebna svojstva obrađivali smo već u prijašnjim poglavljima. Grijala od svijetlog vučenog lima premažu se lojem, da njihova površina ne oksidira nego samo potamni. Treba paziti da površina lima ostane glatka usprkos čestoj upotrebi, jer se lice proizvoda uvijek nasloni na nju. Grijalo od pocinčane žice posjeduje lošu stranu da zbog promjene temperature i trljanja otpada prevlaka cinka koji se sakuplja u udubinama ili na rubovima šablone te prouzrokuje ispušćenja, a ova ostavljaju otisak na proizvodu. Često ta ispušćenja probiju izolacionu ljepenu i prouzrokuju spoj s aluminijskim oblogom, a posljedica toga je nejednoliko zagrijavanje.

Lim se upotrebljava za ravne i ovalne plohe (slike 5,8,10,40,60,62 i 74), kod većih pak površina lim se razreže kao što je prikazano na slici 63, da bi se dobilo duže i uže grijalo, koje se lakše zagrijava. Grijala koja se osim za zagrijavanje upotrebljavaju također za zatezne pojase izoliraju se od tlačnog (zateznog) klipa (slika 43). Da grijalo ne bi dolazilo u dodir s kovinskom armaturom stola, na ploču stola položi se izolaciona prevlaka od vezane ili kovinske ploče.

Grijala se pričvrste na donji sloj prešpana (tlačne ljepenke) čavlicima ili još bolje običnim spojnica za papir. Važno je da ti čavlici ili spojnice ne dodju u dodir s vijcima koji su u šablona. I udubiti ih treba, da eventualna njihova ispušćenja ne dodju u dodir s gornjim aluminijskim oblogom i da ga ne oštete.

Pri lijepljenju rubova spojnice se postave van lijepljene površine, t.j. van prešane površine. Kada paralelne trake pokrivaju cio model, medju sobom moraju biti razmaknute po 3 mm. Razmaci izmedju čavlica ili spojnica neka iznose 30 cm. Što kraći su čavlici to manje topline odvede u drvenu šablonu.

G o r n j i s l o j t l a č n e l j e p e n k e , koji je debeo samo 0,5 mm, položi se na drugu (unutrašnju) stranu grijala, kako bi izolirao električnu struju i u što manjoj mjeri sprečavao odvođenje topline iz gri-



Slika 91. - Stara pneumatska preša priredjena za elektrotoporno zagrijavanje s kompresorom na lijevoj strani, koji dovodi komprimirani zrak.

jala u lijepljeni predmet. Ako je površina grijala veća od formata ljepenke, više komada ljepenke spoji se trakom za lijepljenje, no pri tome, razume se, treba paziti da su rubovi ljepenke tijesno jedan do drugog i da se nigdje ne ukrštavaju ili prekrivaju, jer bi takva deblja mjesta

deformirala aluminijski oblog a te deformacije bi ostavljale znakove na proizvodu.

Kao p o k r i v a č z a i z r a v n a n j e upotrebljava se polutvrđi aluminijski lim debljine 2...3 mm sasvim glatke površine. Ovaj lim se ne pričvršćuje na šablonu odnosno na njen grijaći dio, nego se samo postavi i na rubovima presavije (slika 72). Na taj način može oblog slobodno djelovati te se pri rastezanju zbog zagrijavanja giba.

Ako taj oblog treba na jednu ili na obje strane pričvrstiti, probuše se na krajevima duguljaste rupe za vijke, koji se priviju samo toliko da se oblog može gibati. Ako bi se oblogu sprečilo gibanje on bi se naboravao i deformirao, naročito u slučaju većih površina. Svrha ovog aluminijskog obloga je dvojaka:

- da se dobije glatka, jednolika naslovna ploha (lice) površine proizvođa koji se lijepi;
- da se toplina raspodijeli jednoliko po cijeloj površini.

Kod takvih krivih, savnutih ili zaobljenih proizvoda nije potrebno da se oblog oblikuje po proizvodu, jer se već pri prvom prešanju oblog zagrije te ga šablona pritiskom sama ispravno oblikuje po proizvodu. Oblog zatim taj oblik zadržava. Kod kompliciranijih oblika proizvoda oblog se prethodno izradi grubo po osnovnom obliku i izravna mu se oštri uglovi.

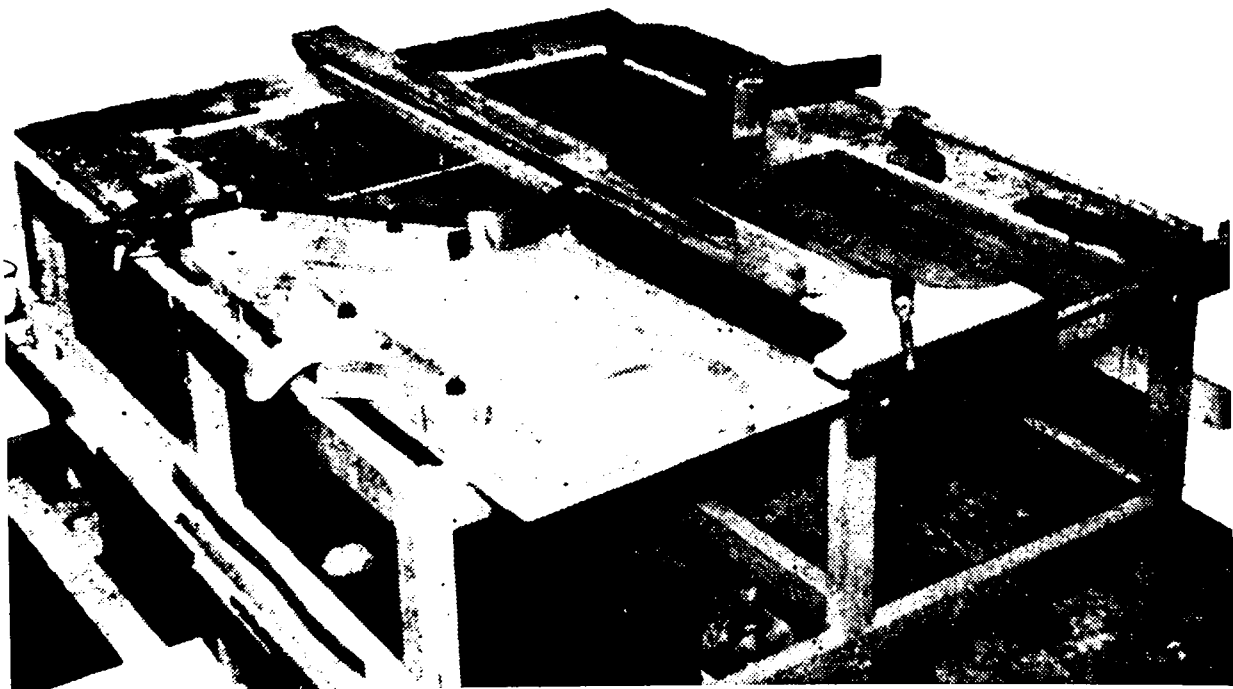
Lijepljenje rubnih letvica i rubova

Rubovi stolarskih, to jest pokućstvenih proizvoda oblažu se letvicama i furnirom još uvijek rukom na primitivan način. Ručno se nanosi ljepilo i ručno prešaju obrubljeni proizvodi u ručnim drvenim okvirima ili kalupima, gdje ostaju sve dok se ljepilo ne stvrdne. Elektrootpornim zagrijavanjem ubrza se sušenje, pri čemu se upotrebljavaju sintetička ljepila, koja se brzo stvrdnu uz povećanu temperaturu. Ujedno se izrade jednostavne drvene ili kovinske sprave za prešanje u koje se brzo učvrste proizvodi (slika 92). Za vrijeme sušenja, koje traje samo nekoliko minuta, rad-



nik namaže ljepilom i pripremi nove proizvode.

Na jednom rubu sprave za prešanje nepomično je pričvršćena pritisna stijenka, koja je obložena azbestom i potom eventualno još gumom i na kraju grijalom. Na suprotnom pak rubu nalazi se pomični tlačni element koji proizvodi pritisak na proizvod. Pritisak se proizvodi pneumatskim cilindrima, hidrauličkim polugama ili ekscentrima, koji moraju pritiskivati barem s  $2 \text{ kg/cm}^2$ . Pri lijepljenju dugih rubova podloži se tlačni element još drvenim ili čeličnim ulošcima za pojačanje, da se pri pritisku rubovi ne bi krivili i da bi se svugdje dobio jednolik pritisak. Pritisni i tlačni element neka su barem 3 mm širi od furnira ili letvica koje se lijepu, a furnir ili letvica neka su opet nešto širi od ruba na koji se lijepu. Time se olakša brzo namještanje furnira i letvica u spravu. Širina grijaće trake neka je uvijek barem za 5 mm veća od ruba koji se lijepi.



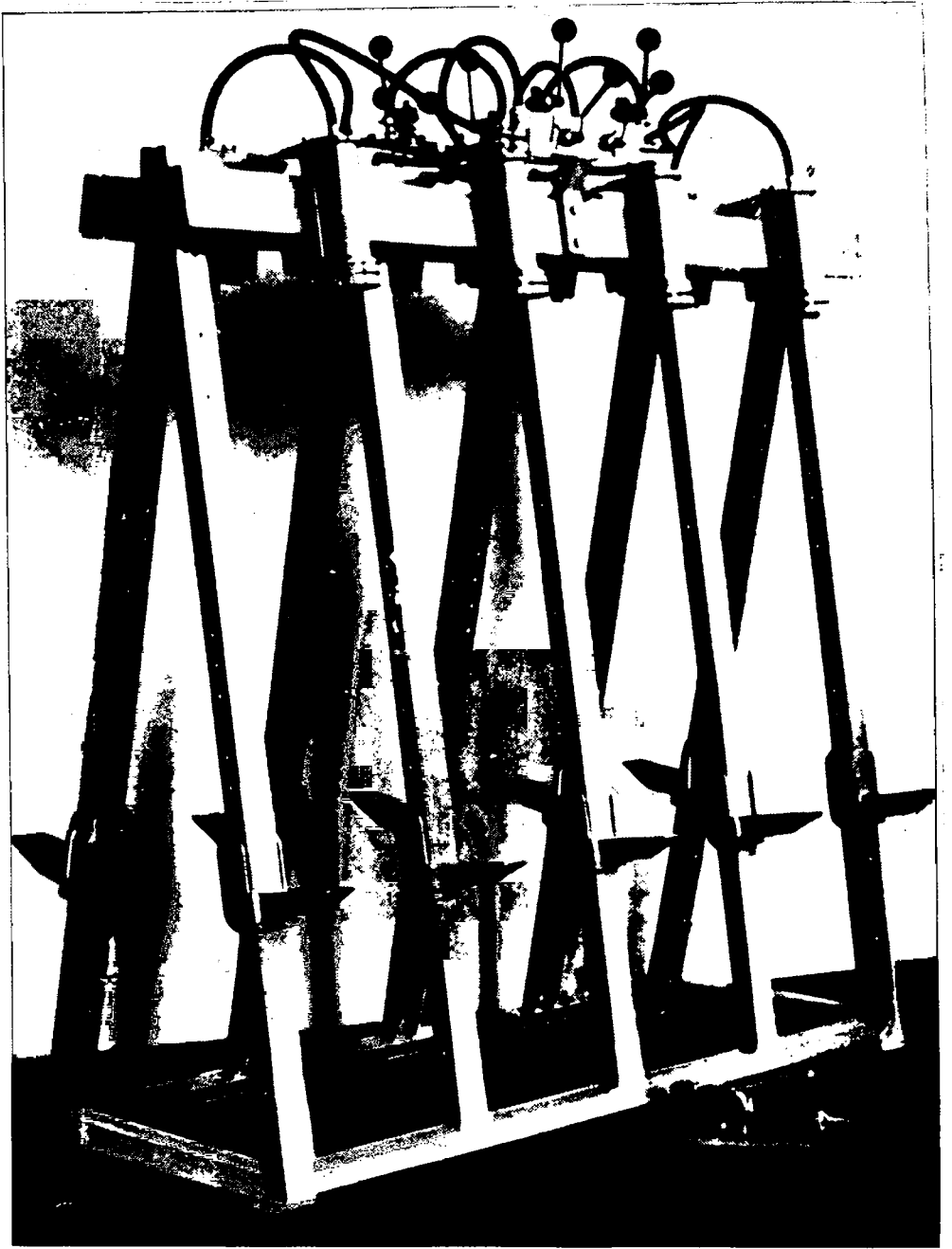
Slika 92.- Drvena sprava s četiri mjesta za otporno furniranje rubova.

Ako treba oblijepiti sva četiri ruba iste kvadratne ploče, oblijepe se

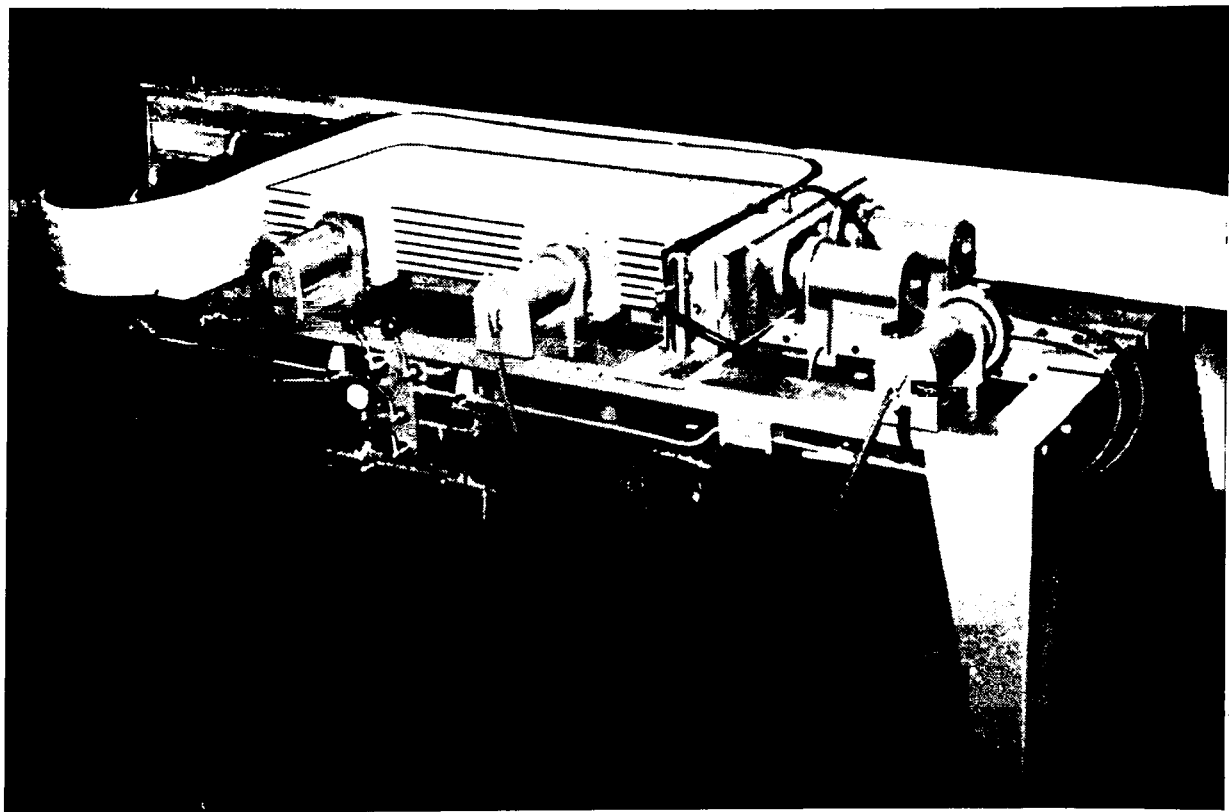
furnirom najprije dva ruba, potom se ploča zakrene za  $90^{\circ}$  i oblijepe druga dva ruba, kao što je prikazano na slici 88. Pri tome furnirsku traku ne treba rezati na tačne dužine, što bi bilo potrebno ako bi se istovremeno lijepila sva četiri ruba. Na istoj spravi mogu se lijepiti rubovi ploča raznih veličina, pri čemu se mijenja položaj jedino tlačnog elementa.

Furniranje ploča sa zaobljenim rubovima prikazano je na slici 89. Mjesto oštih uglova stijenke pritiskne ploče imaju okrugle uglove ili su pak uopće bez njih, pri čemu na te uglove pritiskuje samo grijalo odnosno grijaća traka zatezanjem. Grijaća traka je pričvršćena na dvije ekscentrične poluge, s kojima se traka pritiskne na uglove. Sastrane potom pritisnu još tlačni elementi, koji traci pomažu uzdržavati pritisak na uglovima.

Na rubove okruglih ploča ili muzičkih instrumenata vrlo je teško lijepiti furnir ili trake od plastičnih masa, jer se one moraju po cijeloj dužini pritiskivati na rub dok se ljepilo ne stvrdne. Do sada su se takvi rubovi povijali ili stiskali u mnogobrojne obruče ili kalupe, gdje proizvodi moraju ostati duže vremena. Otpornim zagrijavanjem zagrijava se obruč (v. sliku 48!) koji je prema potrebi montiran u kalup. Na taj način je rub zalijepljen u jednoj do dvije minute, a potom mjesto prepusti slijedećim proizvodima te odmah zalijepljen i suh odlazi u daljnje obradjivanje. Budući da se razmak u grijaćoj traci ne zagrijava, treba paziti da nanj ne dodje spoj furnira koji se lijepi. Furnir se na tome mjestu lijepi kasnije zbog pritiska na obje strane, tj. lijevo i desno. Za svaku veličinu proizvoda upotrebljava se druga veličina proizvodu prilagodjenih grijaćih traka. Za veće pritiske neka je traka od debljeg čeličnog lima nego inače, kada traka nije opterećena na vlak nego na tlak. Za izvanredno velike pritiske i vlačna opterećenja upotrebljava se čelični lim za pera.



Pri furniranju manjih količina savinutih rubova raznih krivina ne treba izradjivati posebne žablone za svaku krivinu. Svaki oblik luka obuhvati se čeličnom grijaćom trakom čiji su krajevi pričvršćeni na pomične svornike (slika 53). Da bi pritisak bio jednak po čitavoj dužini luka, traka mora napuštati krajeve proizvoda u tangenti, što se postizava mijenjanjem udaljenosti obaju krajeva svornikom u rasporu.



Slika 94. - Kovinska pneumatska sprava za trostrano otporno lijep-  
ljenje rubova.

Ako je kut  $\alpha$  premalen, pritisak na traku biti će znatno veći na krajevima ruba nego na sredini ruba proizvoda. Ako je pak kut  $\beta$  prevelik, na oba spomenuta kraja biti će pritisak premalen. Sprava se nalazi na jakom drvenom stolu s rasporima obloženim kovinom. G-rijaća

traka je od čelika visokog kvaliteta, čiji otpor treba utvrditi posebno. Njena debljina iznosi 0,9 ... 1,6 mm, no mora biti za 12 mm šira od širine ruba koji se lijepi i za najmanje 12 cm duža od njegove dužine. Pritisak se proizvodi zračnim cilindrima.

Na ormarima, a naročito na kuhinjskim kredencama, stranice od vezanih ploča oblože se letvicama koje se pribiju čavlima. Otporno se lijepe samo letvice grijaćom trakom širokom 25 mm koja je pričvršćena na gornji tlačni element iznad masivnog okvira. Odozdo se nalazi obični model koji komade drži u okomitom položaju tako da je grijača traka iznad ljepila kada se ploča postavi na njeno mjesto. Pri tome je vrijeme zagrijavanja nešto duže, jer toplina mora podrijeti kroz drvo letvica do ljepila. Kvalitet takvog proizvoda mnogo je bolji i kapacitet proizvodnje veći nego pri pribijanju letvica čavlima.

Zanimljivo je još područje primjene uskih grijaćih traka pri lijepljenju kosih spojeva masivnog drveta na uglovima. Vrijeme zagrijavanja za vezanje ljepila je kratko, jer je drvo piljeno koso na smjer rastenja. Kada ljepilo toliko veže da spoj drži, komad se izvađi iz sprave. Ostatak topline u spoju brzo djeluje i završi stvrdnjavanje sloja ljepila koje se nalazi dublje u drvetu.

#### 7.4 Lijepljenje ravnih površina

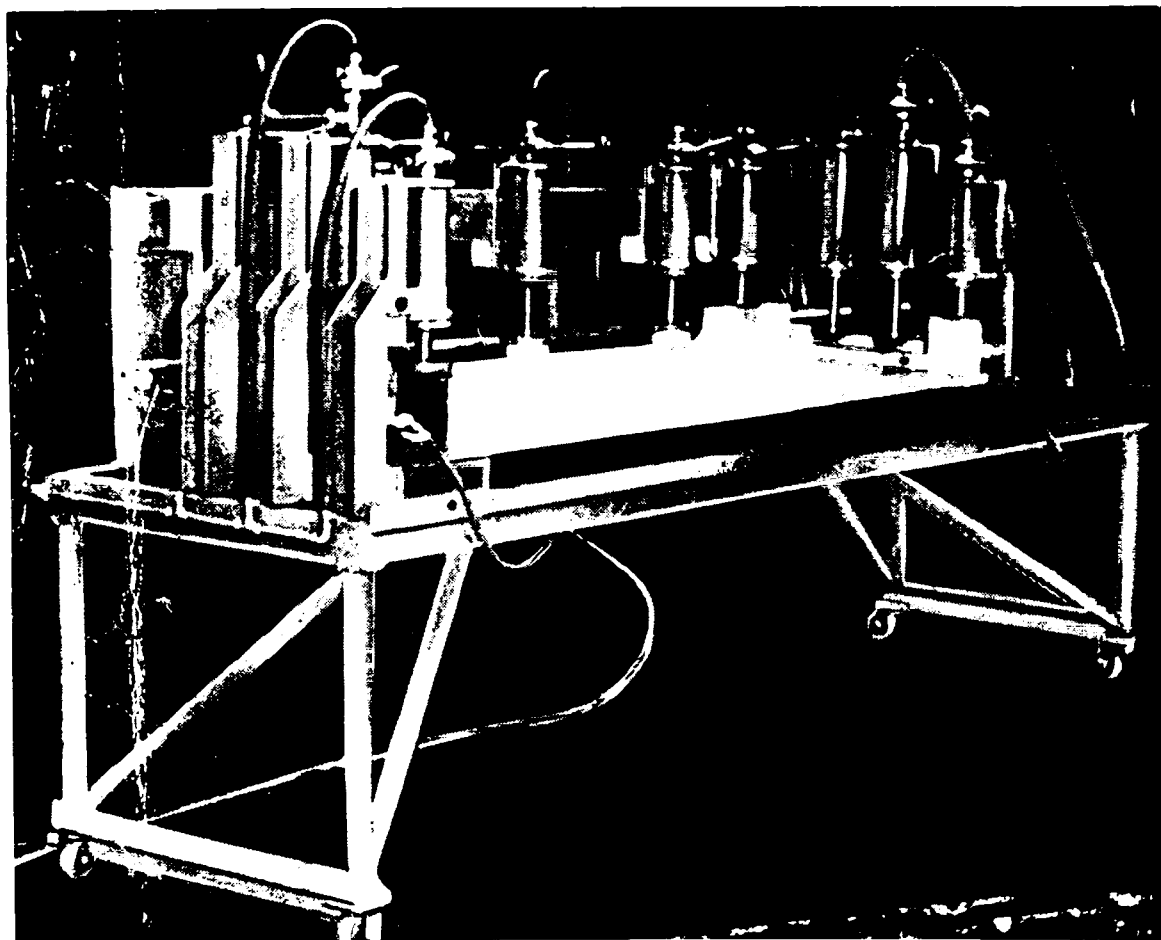
O tome je općenito već bilo govora. Primjena otpornog zagrijavanja za lijepljenje furnira, plastičnih masa, ploča i slično na velike površine od značaja je u prvom redu za pogone koji ne raspolažu velikim vrućim prešama, ili je njihov kapacitet premalen, ili pak imaju premalene postojeće površine za prešanje. Tlačni element djeluje pomoću pneumatskih ili hidrauličkih cilindara, ili pak pomoću ekscentričnih poluga (v.sl. 47, 94, 95 i 100!). Oblozi i izolacija jednaki su onima koji su opisani na stranicama 39. i 41... .

Na taj način se lijepe na primjer gornje ploče za komade, psihe i

slično. Noge ležećeg ili stojećeg proizvoda prislone se na čvrstu podlogu, a na gornjoj strani proizvodi se pritisak na grijaću ploču.

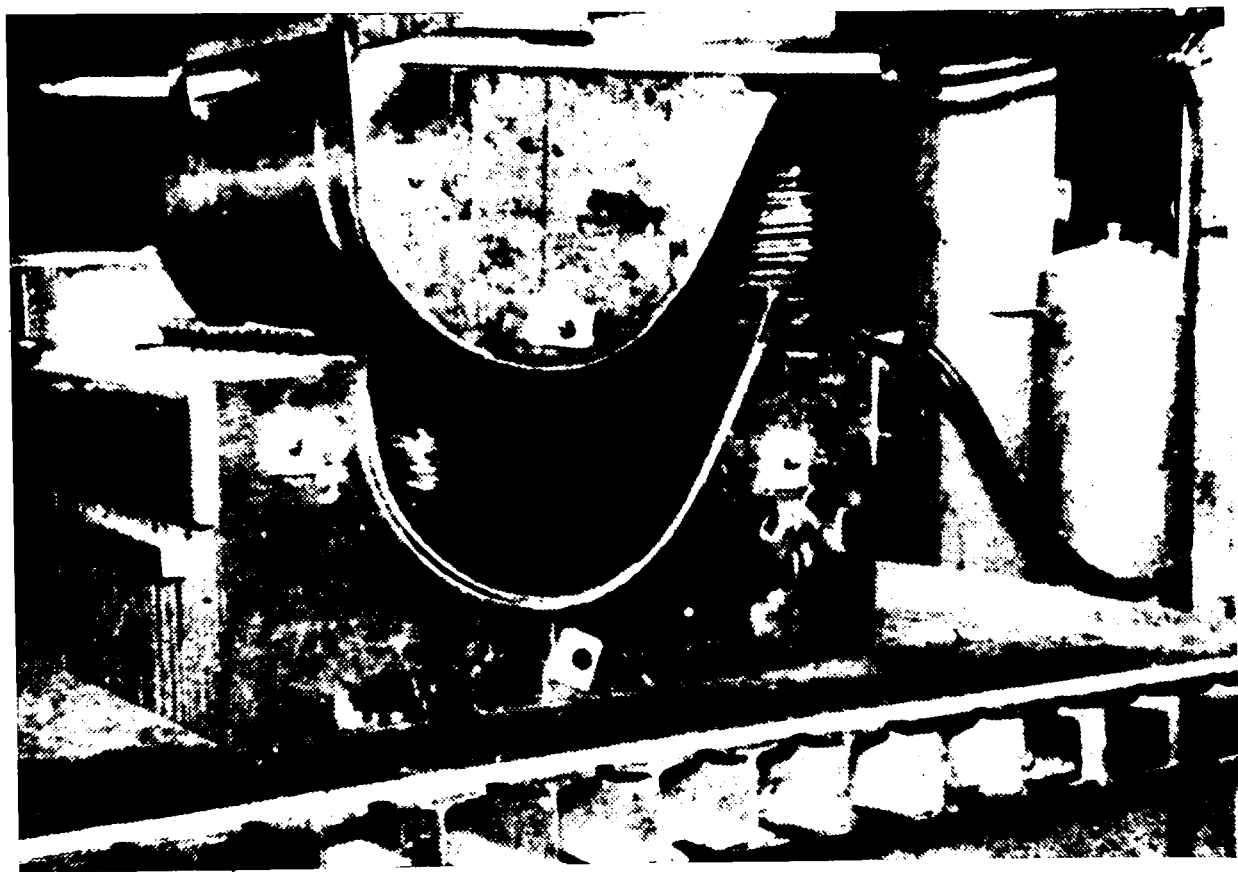
Vrijeme zagrijavanja može biti vrlo različito i ovisi o debljini te gornje ploče i o specifičnoj snazi grijala (v.odsjek 2.3!).

Postupak otpornog lijepljenja tih ploča posjeduje prednost da nema rubova i znakova od čavala ili klinova koji se teško sakrivaju zamaskom te se poznaju poslije površinske obrade proizvoda. Naglašavamo da se u tu svrhu mogu upotrebljavati stare hladne preše na vijke ili pak hidrauličke preše koje se opreme šablonama, grijalima, oblozima i transformatorima.



Slika 95.- Otporno lijepljenje s pneumatskim cilindrima.

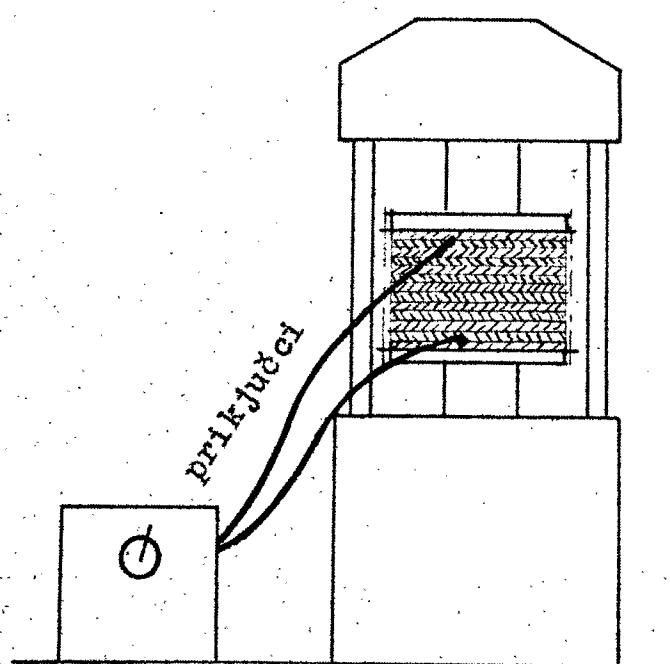
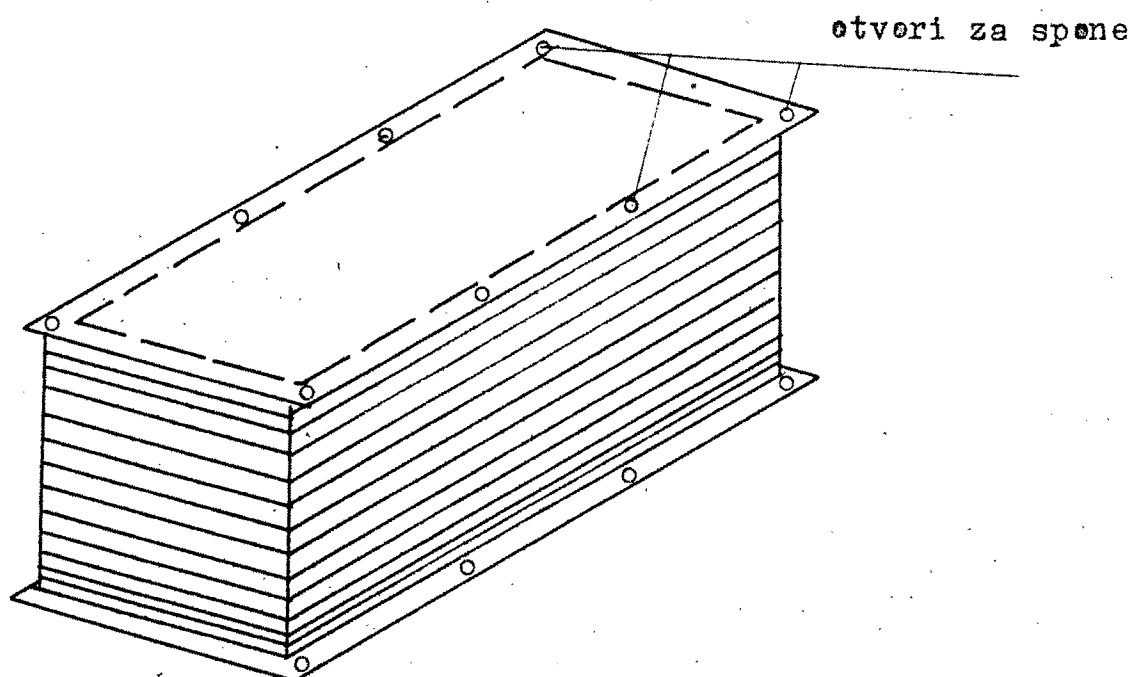
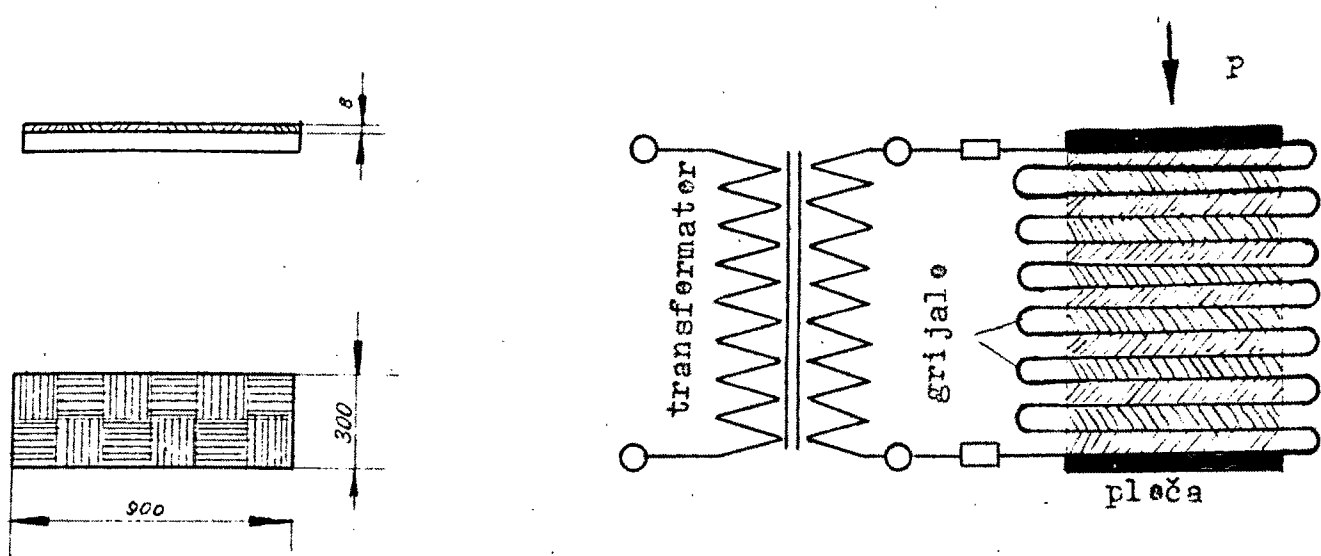
Razmotrimo na slici 96 kako se otporno lijepi lamelirani parket! Desno gore vidi se kako se parketne ploče slože u serpentinasto izvedeno grijalo od jednog komada koje ima samo dva priključka. Taj kup se potom obloži odozdo i odozgo jakim kovinskim pločama, opremljenim sa strane vijcima koji se pritegnu kada je kup veći stisnut u preši. Ovaj kup se potom ugura po valjcima u jednoetažnu prešu, preša se 4 minute i zagrijava do  $80^{\circ}\text{C}$ . Zatim se iz preše potisne na valjke, gdje ostane još otprilike 8 minuta ukliješten i stisnut vijcima. Kroz to vrijeme ljepilo se stvrdne zbog akumulirane topline te se parketne ploče polako ohladjuju.



Slika 97.- Matrica i patrica pri otpornom lijepljenju oblih površina.

## 7.5 Lijepljenje krivih površina i predmeta

U ovom slučaju upotreba grijala slična je onoj pri oblaganju ravnih



Slika 96. Lijepljenje lameliranog parketa otpornim zagrijavanjem transformatera



površina, pri čemu se upotrebljavaju izrezane ploče ili trake. Matrica i patrica moraju se tačno podudarati i jednoliko reagirati na promjene temperature i pritiska (slika 97). Katkada se patrica ne može upotrebljavati, jer je matrica gore uža nego na dnu. Stoga patricu treba stisnuti tako, da se po sredini uzdužno prereže i među obje polovine utakne klin koji proširuje u matricu već uloženu patricu te proizvodi pritisak koji je potreban za lijepljenje. Budući da u takvom slučaju patrica nije čvrsto pričvršćena, praktičnije je da se grijaći elementi i oblozi pričvrste na matricu.

Pri furniranju približno okruglih oblika izradi se unutrašnji (u sredini) dio šablone na koji se pričvrsti grijalo. Vanjski dio šablone sastoji se od dvije polovine koje se spajaju zatvaračem te su iznutra obložene gumom. Kada se vanjskim dijelom pokrije unutrašnji dio šablone, nanj se proizvodi pritisak potreban za lijepljenje.

Pri oblikovanju ploča za kutije radioapara i televizora izrežu se na mjestu krivljenja u vezanoj ploči kutije poprečni utori do zadnjeg sloja furnira. Potom se vanjska površina namaže ljepilom i obloži furnirom za pokrivanje tako da rastenje tog furnira ide okomito na smjer utora. Zatim se ploča stavi u šablonu, zagrijava se i preša grojaćom trakom. Patrica mora imati na uglovima isti polumjer luka kao matrica.

Za lijepljenje krivih površina vrata, prednjih i stražnjih dasaka za krevete i slično, za grijalo se obično upotrebljava pocinčana mreža br. 16, debela 0,3. Na krajevima mreža se pojača bakrenim limom ili se pak opremi podesnim elektrodama, kako bi se struja bolje raspodijela (v.odsjek 4.1.3!); mreža se pričvrsti na šablonu od jelovih masivnih podloga u razmacima 20...25 cm, na koje su tijesno jedna do druge položene i pribijene 8...10 cm široke letvice, u koje se na donjoj strani zarežu 1,5 cm duboki utori tako da na licu ostane još samo 2...3 mm drveta (slika 69). Vrijeme prešanja iznosi oko 12 minuta. Ovaj postupak je skoro pet puta jeftiniji od postupka na formatnim prešama iz uvoza, npr.firme "Fritz", pri čemu nisu uzeta u obzir devizna

investiciona sredstva i troškovi uzdržavanja za te uređaje. Uređaji za prešanje za otporno zagrijavanje i lijepljenje istih proizvoda mogu se izraditi doma te se mogu upotrebljavati kako u svakoj velikoj tvornici tako i u stolarskoj radionici. Ovaj način otpornog lijepljenja podasan je za lijepljenje slijepih i plemenitih furnira na raznim proizvodima, od naslona i sjedišta sjedalica sve do ormarastog pokućstva. Izdaci za električnu struju za lijepljenje dvojnih vrsta velikog ormara iznose jedva 19 dinara.

#### 7.6 O s t a l e m o g u ć n o s t i p r i m j e n e e l e k t r o - o t p o r n o g z a g r i j a v a n j a

Za krivljenje i savijanje komada masivnog drveta parom potrebne su posebno uređene i opsežne prostorije za sušenje te mnogobrojne prostorije i šablone koje dostaju barem za dvije periode sušenja. Pokušaj da se elektrootpornim zagrijavanjem odstrani voda iz parenog drveta i da mu se time dađe oblik pokazali su da je dovoljno samo 15-minutno parenje za 20 mm debeo komad drveta, koji nekā se po mogućnosti pari samo na onim mjestima gdje ga namjeravamo savijati.

Za krivljenje se izradi šablona odgovarajućeg oblika, obloži se negorivim slojem i na nju postavi grijalo. Učvršćivanje i otpuštanje drveta u šablonu i iz nje mora se izvoditi brzo pomoću ručnog pritiskala na gibljiv zglob. Vrijeme zagrijavanja za 20 mm debeo masivno drvo iznosi do 12 minuta. Za oštre krivine kakve imaju na primjer nasloni na foteljima (v.sliku 86!) vrijeme zagrijavanja se produži najviše na 20 minuta. Pri savijanju tanjih proizvoda (debelih do 10 mm) i širih od 50 mm proizvodi se zagrijavaju s obje strane, čime se vrijeme sušenja ili zagrijavanja smanji za jednu trećinu te se spriječi savijanje i valovanje proizvoda po širini. Pri tome treba paziti da grijalo ne prekorači temperaturu koju drvo još može podnijeti, jer bi se inače drvo počelo paliti.

Radnik mora imati toliko šablona da u njih može bez prestanka učvršći-

vati komade drveta te ih opet otpuštati. Otporno zagrijavanje pri krivljenju posjeduje još jednu značajnu prednost, naime da se u blagim krivinama mogu kriviti vezane ploče debele do 10 mm, a da ih prije toga ne treba pariti.

Otporno zagrijavanje upotrebljava se s uspjehom takodjer za skraćivanje sušenja drveta, što se ne može postići posrednim zagrijavanjem. Uredjaj se sastavi od manjih ventilatora s ugrađenim elektrootpornim grijalima, smještenim u dovodnu cijev za zrak. Uredjaj je jednostavan i radi s minimalnim troškovima, naročito ako se u toplinskom pogledu djelomično iskorišteni zrak opet vraća u ventilator. U komade koje želimo kriviti zarezemo na njihovoj uzbočenoj strani utore, da za vrijeme krivljenja ne popucaju i da se lakše i pravilnije krive. U te utore usmjerimo struju zagrijanog zraka - ne zagrijavamo dakle cijelu prostoriju za sušenje. No i inače se usmjerava otporno zagrijani zrak neposredno na proizvod iži na mjesto krivljenja.

## 7.7 E l e k t r o t e r m i č k o g u m e n o g r i j a l o

U gumenu prevlaku uložena je pletena otporna žica. Prevlaka je toliko elastična i mekana, da se uvija, naborava i priljubljuje ravno ili valovito oko predmeta bilo kog oblika. Uz to ona kompenzira sve površinske nepravilnosti na šablوني i njenim oblozima. Njome se mogu zagrijavati po volji velike i različito oblikovane površine, te ne treba nabavljati za svaku veličinu ili oblik posebnu gumenu prevlaku, nego se ona jednostavno premješta iz jedne preše ili šablone u drugu, drukčije veličine i oblika. Može se upotrebljavati za furniranje, sastavljanje lijepljenih komada, za lamelirane konstrukcije, prešanje ljsaka i drugo.

Tehnički podaci navedeni su u poglavlju 4.1.2.4.

Ako se prevlakom pomnjivo rukuje, ona dugo traje i postizava bez oštećenja najmanje 2000 radnih sati kod temperature do 180°C. Vлага i tekućine ne

nanosa jo-j štetu te se njome može zagrijavati čak u vodi. Da se ne bi uprljala ljepilom, prekrije se limom. Prevlaka može podnijeti pritisak  $14 \text{ kg/cm}^2$ . Kod pritiska iznad  $4 \text{ kg/cm}^2$  debljina prevlake se smanjuje, dok se brzina prijenosa topline povećaje.



Slika 98. - Furniranje okruglih rubova ormara gumenim ulošcima i pneumatskim cilindrima.

## 7.8 Mreža i žice kao grijal o

Mjesto lima upotrebljava se kao grijal o žičana mreža koja ima znatno veći otpor od lima. Što je lakša mreža po jedinici površine, to veći je njen otpor. Po žicama u mreži koje idu okomito na dužinu osi ne teže električna struja; te žice imaju po cijeloj dužini jednak napon. Zato treba računati da prenosi električnu struju i da zagrijava samo jedna polovica mreže. Razlike u materijalu ili pak razlike u debljini žica ne utiču bitno na jednolikost zagrijavanja. Zato

nije potrebno da se za mreže upotrebljava skuplji materijal. Dobro je obično galvanizirano željezo.

O mrežama i žicama подробно govori poglavlje 4.1.2.1 i poglavlje 2.1.6.2. Tamo su navedeni odgovarajući tehnički podaci i proračuni.

Prednost mreže kao grijala sadržana je u činjenici da se ona prilagođuje krivinama i obliku površine proizvoda. Ako mreža ostavlja otiske na proizvodu, obloži se ljepenkom ili plastikom. Budući da je temperatura na rubovima niža nego u sredini, neka viri nekoliko centimetara mreže iz šablone. Ti rubovi mreže neće se pregrijavati, jer ih ohlađuje zrak koji lako prolazi kroz omče mreže. Dešava se da se uzdužne žice prekinu na priključcima zbog pregibanja, ili pak žice nagriže korozija, ako se duže vremena nisu upotrebljavale. U takvim slučajevima površina se zagrijava nejednoliko i dok su neka polja još sasvim hladna druga su prevruća. Zato treba paziti da su uzdužne žice uvijek neprekinute. Najbolja zaštita je kompaundiranje grijala.

Ako jedna žičana mreža ne zagrijava dovoljno, doda se druga. U slučaju velikih površina mrežasto grijalo se sastoji od više pojasa (v.sliku 66!). Tako da se toplina porazdijeli jednoliko te je lakše zagrijavati površinu. Ovi pojasi moraju biti razmaknuti za 4... 5 mm i čvrsto pričvršćeni na obloge spojnicama. Rubovi mreže umetnu se među letve (slika 69) ili se pak obrube. Preko mreže stavi se tlačna ljepjenka i potom aluminijski lim čiji se rubovi presaviju uz šablonu.

## 7.9 G r i j a l o u s l o j u l j e p i l a

Ovo je način pri kome se u sloj ljepila smjesti otporna žica koja zagrijava ljepilo i poslije stvrdnuća ostane u njemu. Obzirom na širinu sloja ljepila, u nju se može umetnuti jedna ili više otpornih žica, čiji krajevi vire iz sloja tako da se priključcima mogu spojiti na transformator. Čim se ljepilo stvrdne isključimo električnu struju, prekinemo spoj i krajeve žice koji vire otštipnemo što bliže drveta.

Takvo neposredno zagrijavanje otpornom žicom je brzo i ekonomično. Pri tome se toplina razvija baš tamo gdje je potrebna te se toplinska snaga ne gubi za zagrijavanje drveta.

Vrijeme zagrijavanja je izvanredno kratko - jedva minutu ili manje - pri čemu se brzo postizava  $100^{\circ}\text{C}$ . Ova metoda je najpodesnija za "duboko" stvrdnjavanje, to jest tamo gdje se slojevi ljepila nalaze duboko u drvetu te bi duže vremena trebalo pregrijavati debele slojeve drveta, da bi toplina dorla do sloja ljepila. Vrijeme potrebno za operaciju i stvrdnjavanje ljepila utvrđuje se praktičnim pokusima ili pak time da se mjeri tok porasta temperature u žici.

Varijantu ove metode izveli su u Essenu tako, da su u sloj ljepila stavili cijelu mrežu otpornih žica mjesto pojedinih žica. Poslije su pokušali i s drugom varijantom pomoću tekstilne mreže, nazvane "tegowirofilm", koja je sastavljena od tankog sloja fenolne smole u kojoj je utkana (upletena) fina žičana mreža. Sada ni ljepilo nije trebalo nanositi, jer tegowirofilm sadrži ljepilo od fenolne smole i uz to još otporne žice. Potrebno je jedino da se taj film umetne među slojeve drveta, da se upletena žičana mreža priključi na struju te se ljepilo omekša i ponovo stvrdno zagrijavanjem.

Podrobne tehničke podatke za ova grijala obradjujemo u poglavlju 4.1.2.6.

## 7.10 L j e p i l a i n j i h o v o v r i j e m e s t v r d n j a v a n j a

Već smo rekli da se vrijeme stvrdnjavanja kod sintetičkih ljepila skraćuje dovodjenjem topline. Upotrebljavaju se ljepila koja imaju prilično veliku trajnost skladištenja kod normalne temperature, dok se kod povećane temperature naglo stvrdnu. Za svaku vrstu primjene treba imati odgovarajuće sredstvo za stvrdnjavanje. Kod nekih vezivanja - na primjer pri furniranju rubova - ljepilo se može zagrijati prije nego što se počne s prešanjem. Takva ljepila ne smiju brebrzo vezi-

vati kod srednjih temperatura, jer bi se inače pojavljivali mjehuri. Sporo sredstvo za stvrdnjavanje traži duže vrijeme zagrijavanja. Smolu i sredstvo za stvrdnjavanje treba tako kombinirati da se dobije odgovarajuće vrijeme vezivanja.

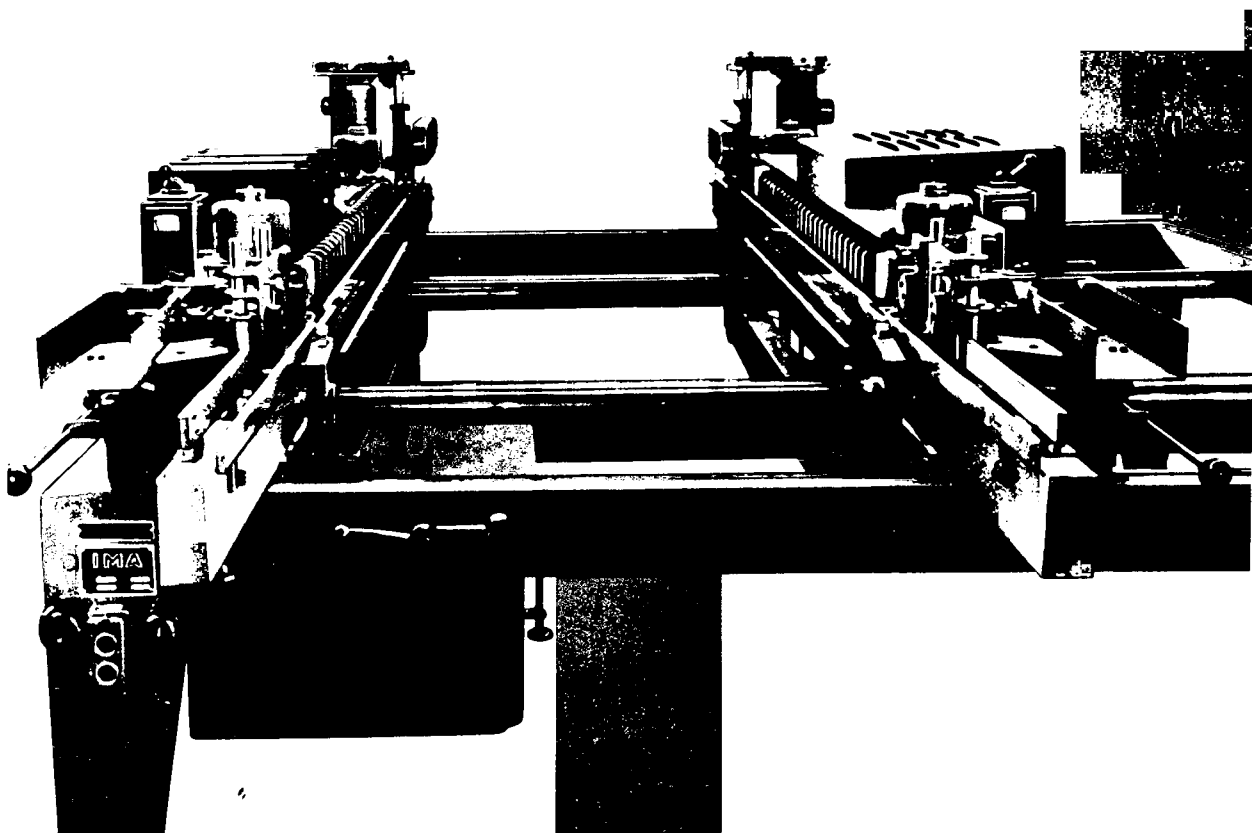
Temperatura elektrotopnog grijala iznosi obično oko  $110^{\circ}\text{C}$ , t.j. prilično ispod zapaljivosti drveta, no dostatno je visoka za brzo stvrdnjavanje ljepila. Kod te temperature ljepilo odmah veže, mnogo prije jedne minute, pod uvjetom da se ne upotrebljava specijalno ljepilo sa sporim stvrdnjavanjem, kao što su fenolna i melaminska ljepila.

Normalna ljepila ne ispune rupice u drvetu. Ako se nanese deblji sloj ljepila, mogao bi popucati, pa bi se smanjila čvrstoća; deblji sloj ljepila može se nanositi jedino ako se radi s visokim pritiskom, koji ljepilo stisne u tanak sloj. Od gustih ljepila upotrebljavaju se ona koja ispune rupice u drvetu, a da ne izgube svoju čvrstoću, iako njihov sloj nije deblji od 1,25 mm. Kod manjih pritisaka upotrebljavaju se niže temperature, kako se ljepilo ne bi počelo pjeniti.

Vrijeme stvrdnjavanja ljepila određuje proizvođač; ono ovisi o količini dodanog sredstva za stvrdnjavanje. Netačno dodavanje tog sredstva produžuje vrijeme vezivanja. Tačna omjer ljepila i sredstva za stvrdnjavanje dobiva se vaganjem ili pak s posudama za mjerenje količine. Poslije svake upotrebe treba posudu pomaljivo očistiti, kako ne bi u njoj ostalo što ljepila ili sredstva za stvrdnjavanje, jer bi se inače mogli dobiti pogrešni postoci miješanja kod slijedećeg mjerenja.

Za utvrđivanje vremena zagrijavanja ne mogu se dati nikakva univerzalna uputstva, jer na brzinu stvrdnjavanja ljepila utiče toliko faktora, da se svi žbilja ne mogu obuhvatiti. Kako se utvrđuje to vrijeme obradjeno je u poglavljima 2.3.2 i 2.3.5. Za grijala malog toplinskog kapaciteta vrijedi da na svakih  $1000\text{ W/m}^2$  specifične snage temperatura raste prosječnom brzinom  $2,5^{\circ}\text{C/minutu}$ . Oslanjajući se na taj podatak,

jasno je da se može za svaku vrstu ljepila odrediti potrebno vrijeme stvrdnjavanja po krivulji ili po podacima koje treba tražiti za svaku vrstu ljepila. Upotrebljavamo ljepila koja doduše vežu brzo ali ipak ne prenaplo. - Važno je spomenuti da se kod lijepljenja panel ploča može skratiti vrijeme stvrdnjavanja na približno jednu četvrtinu, ako se one zagrijevaju s obje strana mjesto samo s jedne. Brzina kojom se toplinski val širi dubinu opada naime s kvadratom udaljenosti.



Slika 99. - Uredjaj za automatsko elektrootporno lijepljenje rubova.

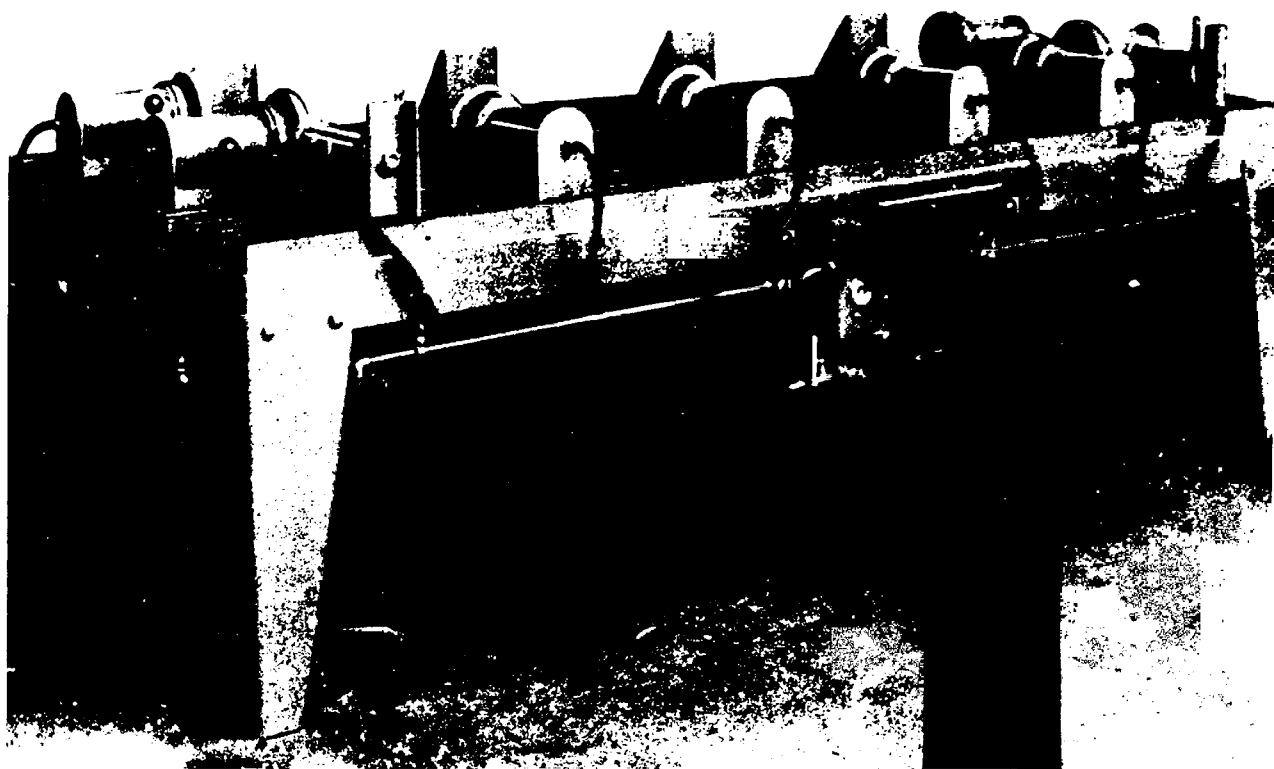
Pri lijepljenju kosih spojeva kod sirovog drveta dostaje 4...5 minutno zagrijavanje, da bi se ljepilo vezalo na uglovima gdje je drvo tanje.



Na debljem pak kraju ljepilo veže akumulirana toplina pošto je proizvod već izvadjen iz preše.

## 7.11 P r i t i s c i

Osim topline, za vezivanje sintetičkih ljepila potreban je i stano-  
viti pritisak. Zadatak pritiska je dvojak: on zatvara i stiska lje-  
pilo medju dva komada drveta tako da sloj ljepila postane podesno ta-  
nak; drugi je pak njegov zadatak da za vrijeme zagrijavanja drži lje-



Slika 100. - Kovinski sto s pneumatskim cilindrima za četverostrano  
otporno lijepljenje.

pilo pod dostatnim pritiskom, kako se ne bi moglo pjeniti kada voda  
u njemu počne vreti. Što se tanji sloj ljepila nanese, to čvršće će on

vezati, a spoj će izgledati ljepši i čistiji, naročito po završenom površinskom obradjivanju. Ako je pritisak prenizak, voda u ljepilu počinje vreti te izbacuje ljepilo iz spoja ili ga gomila na pojedinim mjestima. Potom preostalo ljepilo veže s manjom čvrstoćom. Ako je pak ljepilo jako stisnuto, poveća se temperatura njegovog vrelišta te se ljepilo stvrdne prije nego što postigne tačku vrenja. Veličina pritiska nije ograničena do one tačke kada prejak pritisak ošteti drvo.

Pri funiranju rubova mekog drveta pritisak mora iznositi najmanje  $1,75 \text{ kg/cm}^2$ , dok se pri tvrdom drvetu taj pritisak mora povećati za još toliko. Pritisak se najjednostavnije proizvodi pneumatskim cilindrima, koji daju uvijek jednak pritisak. Dimenzije cilindra utvrđuju se tako ta se lijepljena površina u  $\text{cm}^2$  pomnoži s potrebnim pritiskom u  $\text{kg/cm}^2$ . Na taj način se dobiva ojelokupna potrebna snaga pritiska. To se zatim raspodijeli na pojedine cilindre te se dobije snaga koju mora dati svaki cilindar. Na kraju se odatle izračuna veličina cilindra.

Ako je veličina lijepljene površine  $20 \cdot 5 = 100 \text{ cm}^2$  te je potreban pritisak  $2 \text{ kg/cm}^2$  (svega 2000 kg), uzmu se na primjer 4 cilindra s pritiskom po 500 kg. Ako pritisak zraka iznosi 6 atmosfera, promjer cilindra mora biti po priloženoj tabeli 110 mm (sredina 471 s 100 mm promjera i 736,2 s 125 mm promjera). Kad bi se mjesto četiri upotrebljavala samo tri cilindra, svaki od njih morao bi davati po 667 kg pritiska. Tada bi trebalo uzeti cilindar 125 promjera (736,2 kg u slijedećoj tabeli), jer je 471 kg premalo.

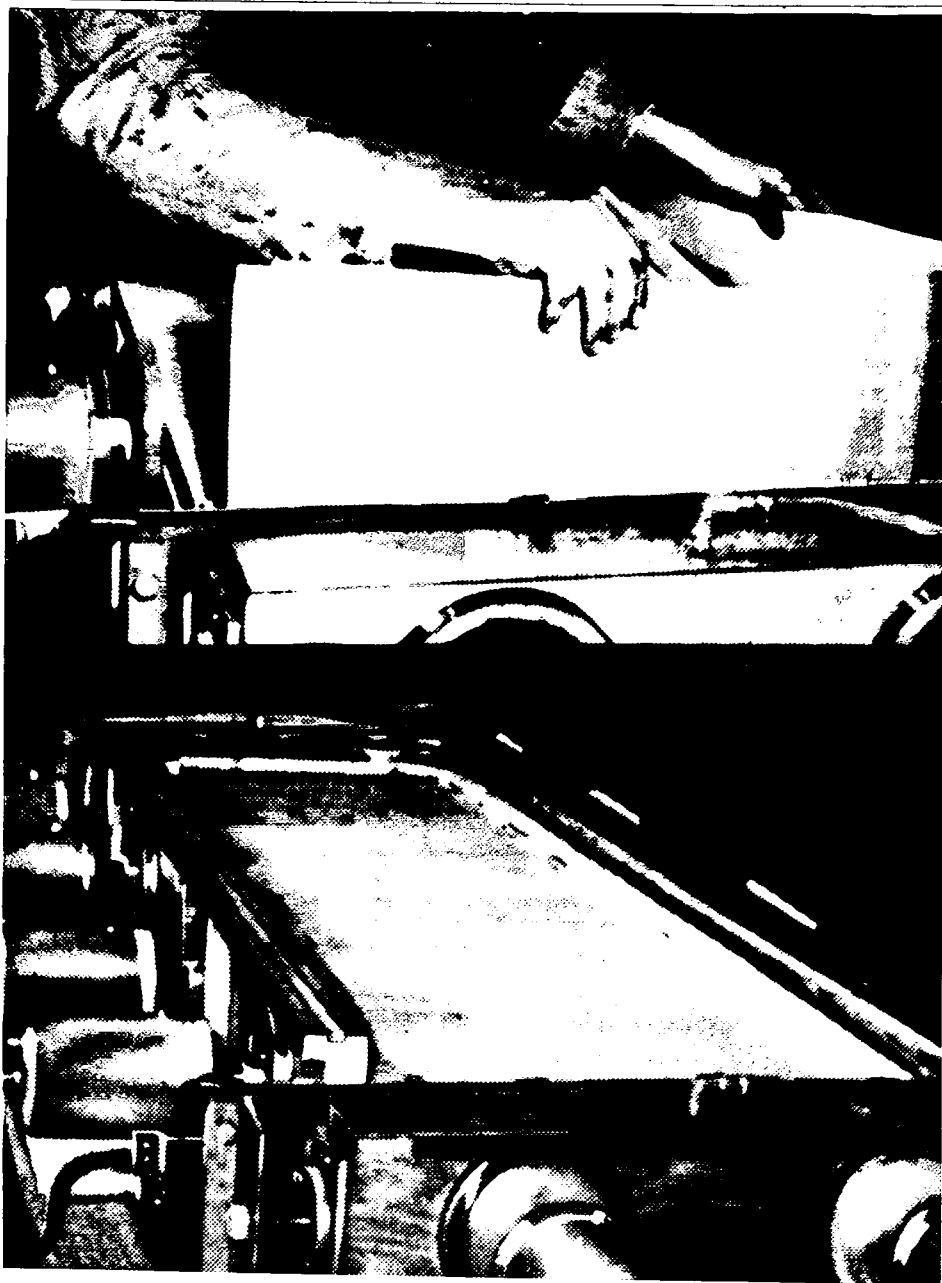
Za male pritiske upotrebljavaju se ekscentri na ručne poluge. Njihova slaba strana je da ovise o promjenljivoj snazi radnika i da pri stiskanju rado prouzrokuju ispodmicanje lijepljene površine zbog trenja između drveta i ekscentra. Zato se ekscentri uvijek postavljaju tako da su dva susjedna ekscentra okrenuti u suprotne smjerove.

Snaga pneumatskih cilindara raznih veličina u kg kod  
raznih pritisaka zraka

| Promjer<br>cilindra<br>mm | P r i t i s a k   z r a k a   u   k g / c m <sup>2</sup> |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                           | 2  | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 50                        | 39,2   | 58,8   | 78,4   | 98,0   | 117,6  | 137,2  | 156,8  | 176,4  | 196,0  |
| 75                        | 88,4   | 132,6  | 176,8  | 221,0  | 265,2  | 309,4  | 353,6  | 397,8  | 442,0  |
| 100                       | 157,0  | 235,5  | 314,0  | 392,5  | 471,0  | 549,5  | 628,0  | 706,5  | 785,0  |
| 125                       | 245,4  | 368,1  | 490,8  | 613,5  | 736,2  | 858,9  | 981,6  | 1104,3 | 1227,0 |
| 150                       | 353,4  | 530,1  | 706,8  | 883,5  | 1060,2 | 1236,9 | 1413,6 | 1590,3 | 1767,0 |
| 200                       | 628,4  | 942,6  | 1256,8 | 1571,0 | 1885,2 | 2199,4 | 2513,6 | 2827,8 | 3042,0 |
| 300                       | 1413,8   | 2120,7 | 2827,6 | 3534,5 | 4241,1 | 4948,3 | 5655,2 | 6362,1 | 7068,0 |

Ako se upotrebljava više cilindara, njihova ukupna snaga jednaka je sumi snaga pojedinih cilindara. Pritisak na 1 cm<sup>2</sup> lijepljene površine jednak je ukupnom pritisku koji se dobije prešanom površinom, mjerenom u cm<sup>2</sup>.

Pritisak se može proizvoditi takodjer pomoću ručnih stezača na polugu; na taj način se postizavaju sile od više stotina kilograma. Stezače međjutim treba premještati i prilagodjivati, ako se veličina proizvoda



Slika 101.- Četverostrano otporno lijepljenje rubova i stavljanje tlačnih elemenata s ulošcima (debele daske).

mijenja. Uvijek je bolje da se izrade veći stezaći nego manji, jer se

veći mogu lakše prilagoditi raznim veličinama prešanih proizvoda, a uz to imaju i veći hod.

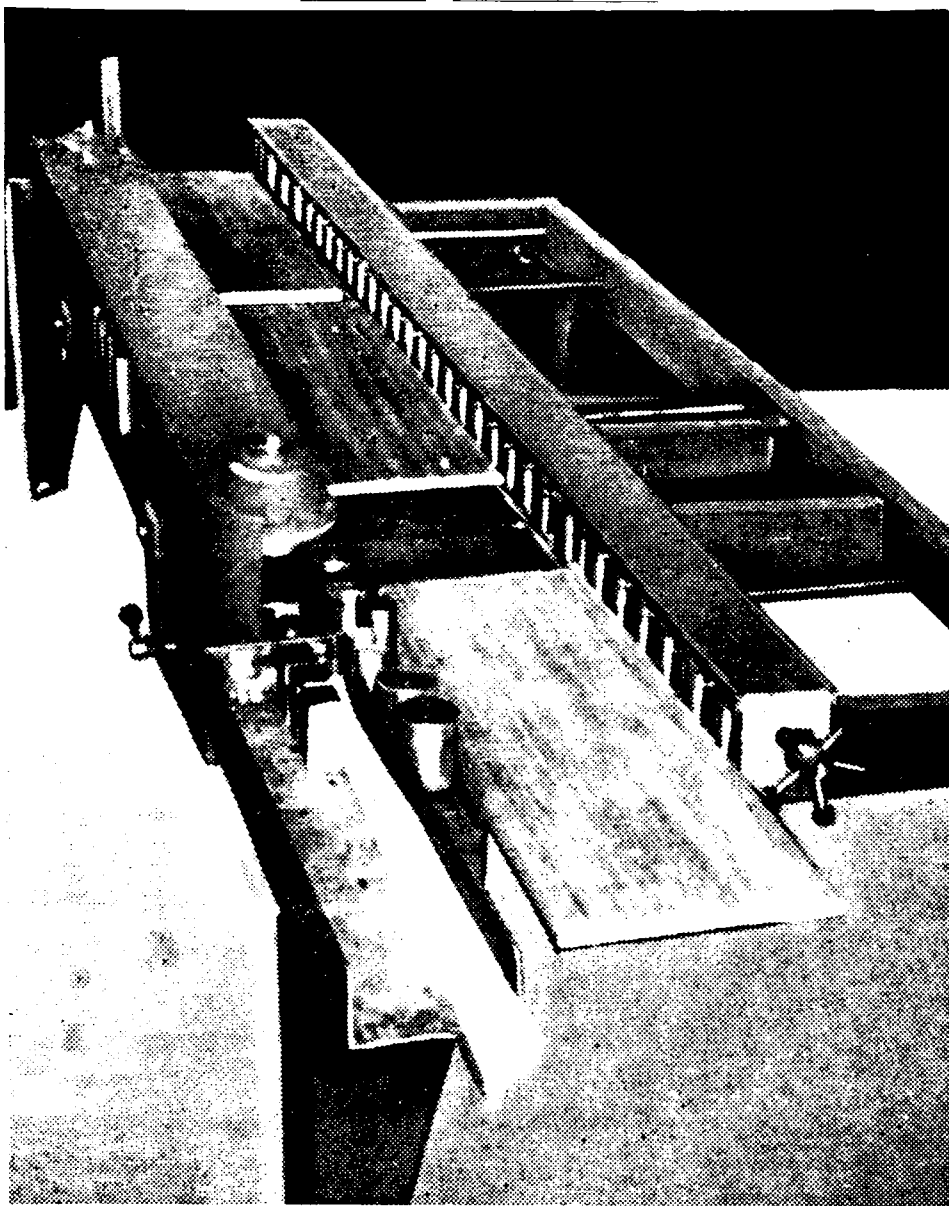
Da bi se postigli zbilja zadovoljavajući rezultati lijepljenja, treba svu pažnju posvetiti ispravnom pritisku. Uvijek je bolje raditi s pritiskom nešto većim od propisanog, nego s manjim. Posljedica premalog pritiska je slab spoj, te se greška često pokaže tek poslije u obliku bijele crte na mjestu lijepljenja. U prvom radu treba voditi računa o tome da se primijeni toliko pritisak koliko može podnijeti spoj.

## ZAKLJUČCI U POGLEDU EKONOMIKE OTPORNOG ZAGRIJAVANJA

Troškovi za nabavku ili izradbu opreme, tj. uređaja za elektro-otporno zagrijavanje (transformatora, kabela, priključaka, izolacionih i obložnih ploča) razmjerno su niski te iznose od 40 000 Din za jedinicu 0,5 kW, koja zagrijava element s površinom do  $0,3 \text{ m}^2$ , do otprilike 200 000 Din za zagrijavanje više kvadratnih metara odjednom. Tome treba dodati još troškove za mjerne i signalne instrumente. Signalni instrumenti nisu prijeko potrebni, ako je radnik uveden u rad.

I pogonski troškovi su obzirom na potrošak struje i cijenu uzdržavanja izvanredno niski. Ako se s transformatorom i kabelima postupa pažljivo, traju više godina, jeftini pak grijači i izolacioni elementi traju barem jednu godinu.

Za rad kao što je furniranje rubova i slično izrade se tri sprave za prešanje koje rade jedna iza druge tako da sve tri poslužu samo jedan radnik. Kada on prvu pripremi, učvrsti i uključi struju, druga se već može isklopiti i iz nje izvaditi zalijepljen proizvod, treća pak u međuvremenu zagrijava i lijepi. U slučaju samo jedne sprave radnik bi za vrijeme zagrijavanja bio bez posla. Kada se lijepi višeetažnom prešom, dostaje samo jedna, jer za vrijeme zagrijavanja radnik priprema i nanosi ljepilo na više proizvođa koje će staviti u prešu. Ako postoje dvije etažne hidrauličke preše, radnik je za vrijeme zagrijavanja proizvoda u prvoj preši potpuno zaposlen pražnjenjem druge preše te pripremanjem, lijepljenjem i ulaganjem u tu prešu. Troškovi za radnu snagu - izuzev kod najvećih preša - znatno su niži od pogonskih troškova, zato ih treba što je moguće više smanjiti. Ako predmeti ostanu u preši koju minutu više nego što je potrebno, to ne znači praktično nikakvo povećanje proizvodnih troškova.



Slika 102. - Elektrootporno lijepljenje rubova na tekućoj traci.

Sprave za prešanje moraju biti tako konstruirane, da se njihovo punjenje i pražnjenje izvodi što je moguće jednostavnije i praktičnije i da se odvija što je moguće brže\*. U suprotnom se slučaju gubi previše radnog vremena za te dvije operacije. Pneumatski cilindar daje veći i jednoličniji pritisak, djeluje brže i ima veći hod nego ekscentrične poluge. Pruža također više slobodnog radnog mjesta i omogućuje lakšu manipulaciju. Veći troškovi za izradbu cilindara kompenziraju se smanjenjem radnog vremena.

## L i t e r a t u r a

- (1) Ing. Jaroslav Kopriva, Vyvoj nábytkárshého prumyslu, Brno,  
"Elektrické vyhřívání obkličovacích přípravku malým napětím"  
(Ing. Jaroslav Kopriva, Rozvoj industrie pokročila, Brno,  
"Električno zagřívání uredjaja za lijepljenje niskim na-  
ponom"),  
Drevo 5/1955, Praha
- (2) Ing. Jaroslav Kopriva, Vyvoj nábytkárshého prumyslu, Brno,  
"Nove zkušenosti s elektrickým odporovým malým křížením na-  
petím"  
(Ing. Jaroslav Kopriva, Rozvoj industrie pokročila, Brno,  
"Nova iskustva s elektrickým otporním lijepljenjem s niskim  
naponom")  
Drevo 6/1957. Praha
- (3) Ian Jones B. Sc. "Electrical Resistance Heating for Setting  
Adhesives", Furniture Development Council - Technical Infor-  
mation Service, Information Report No. 8  
("Elektrootporno zagřívání pri lijepljenju")
- (4) Pound, J.: "Practical low voltage heating", Wood, 22 (1957)  
No. 4, p. 128...131; No. 5, p. 197...200; No. 6, p. 253...258.  
(Pound, J.: "Zagřívání niskim naponom u praksi")
- (5) P. M. C. Lacey and H. A. Howe: "Electrically-heated cauls  
for veneering"  
(P. M. C. Lacey i H. A. Howe: "Električno zagřívání gumení  
kalupi za furníranje")  
Wood, Vol. 14, No. 9 (Sept.) 1949, p. 269...274.